

21931/8

EULER. L.

Gray

76009

LETTRES
A UNE PRINCESSE
D'ALLEMAGNE
SUR DIVERS SUJETS

DE
PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

TOME TROISIÈME



GENÈVE
CHEZ BARTHELEMI CHIROL.

M. DCC. LXX. V.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF LAND MANAGEMENT
WASHINGTON, D.C.



219010

219010



219010

219010



T A B L E

D E S M A T I È R E S

D U

T O M E T R O I S È M E.

LETTRE CLV. <i>Problème des Longitudes : Description générale de la terre.</i>	pag. 1
LETTRE CLVI. <i>Grandeur de la terre ; des méridiens & du plus court chemin.</i>	5
LETTRE CLVII. <i>De la Latitude & de son influence sur les saisons & la longueur des jours.</i>	10
LETTRE CLVIII. <i>Des parallèles , du premier méridien & des Longitudes.</i>	14
LETTRE CLIX. <i>Choix du premier méridien.</i>	19
LETTRE CLX. <i>Méthode de déterminer la Latitude ou l'élévation du Pole.</i>	24
LETTRE CLXI. <i>Connoissance des Longitudes par l'estime du chemin parcouru.</i>	28
LETTRE CLXII. <i>Continuation. Défauts de cette méthode.</i>	32
LETTRE CLXIII. <i>Seconde méthode de déterminer les longitudes par le moyen d'une horloge exacte.</i>	36
LETTRE CLXIV. <i>Continuation & éclaircissements ultérieurs.</i>	41

- LETTRE CLXV. *Eclipses de lune, troisième méthode pour les Longitudes.* pag. 45
- LETTRE CLXVI. *Observations des éclipses des Satellites de Jupiter, quatrième méthode pour les Longitudes.* 50
- LETTRE CLXVII. *Le mouvement de la Lune, cinquième méthode.* 54
- LETTRE CLXVIII. *Avantages de cette dernière méthode; degré de sa précision.* 58
- LETTRE CLXIX. *Sur la boussole & les propriétés de l'aiguille aimantée.* 62
- LETTRE CLXX. *Déclinaison de la boussole & manière de l'observer.* 67
- LETTRE CLXXI. *Variation qu'éprouve la déclinaison de la boussole au même endroit.* 71
- LETTRE CLXXII. *Carte des déclinaisons; manière de s'en servir à découvrir les Longitudes.* 75
- LETTRE CLXXIII. *Pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, différente en différens endroits, & par quelle raison elle change au même endroit avec le tems?* 80
- LETTRE CLXXIV. *Eclaircissemens sur la cause & la variation de la déclinaison des aiguilles aimantées.* 84
- LETTRE CLXXV. *Inclinaison des aiguilles aimantées.* 89
- LETTRE CLXXVI. *Véritable direction magnétique; matière subtile qui produit la force magnétique.* 94

LETTRE CLXXVII. *Nature de la matière magnétique, & de son courant rapide. Canaux magnétiques.* pag. 98

LETTRE CLXXVIII. *Tourbillon magnétique. Action des aimans l'un sur l'autre.* 102

LETTRE CLXXIX. *Nature du fer & de l'acier. Manière dont ils peuvent recevoir la force magnétique.* 106

LETTRE CLXXX. *Action des aimans dans le fer. Phénomènes qu'on observe en mettant des pièces de fer près d'un aimant.* 111

LETTRE CLXXXI. *Armature des aimans.* 116

LETTRE CLXXXII. *Action & force des aimans armés.* 120

LETTRE CLXXXIII. *Manière de communiquer à l'acier la force magnétique & d'aimanter les aiguilles des boussoles; la simple touche, ses défauts; moyens d'y remédier.*

125

LETTRE CLXXXIV. *Sur la double touche. Moyens de conserver la matière magnétique dans les barres aimantées.*

129

LETTRE CLXXXV. *Comment on communique aux barres d'acier une très-grande force magnétique, par d'autres barres qui l'ont très-foible.*

134

LETTRE CLXXXVI. *Fabrique des aimans artificiels en forme de fers à cheval.*

138

LETTRE CLXXXVII. *Sur la Dioptrique; Instrumens qu'elle nous fournit: Des Télescopes & Microscopes. Différentes fig-*

res qu'on donne aux verres ou lentilles.

pag. 143

LETTRE CLXXXVIII. *Diférence entre les lentilles par rapport à la courbure de leurs faces. Distribution des lentilles en trois classes.* 147

LETTRE CLXXXIX. *Effet des verres convexes.* 152

LETTRE CXC. *Sur le même sujet : distance de foyer des verres convexes.* 155

LETTRE CXCI. *Distance de l'image des objets.* 160

LETTRE CXCH. *Grandeur des images.* 164

LETTRE CXCH. *Verres ardents.* 168

LETTRE CXCH. *Chambres obscures.* 172

LETTRE CXCH. *Réflexions sur la représentation dans les chambres obscures.* 177

LETTRE CXCH. *Lanternes magiques & microscopes solaires.* 181

LETTRE CXCH. *Usage & effet d'un verre convexe simple.* 185

LETTRE CXCH. *Usage & effet d'un verre concave.* 189

LETTRE CXCH. *De la grandeur apparente, de l'angle visuel, & des microscopes en général.* 194

LETTRE CC. *Estime des grossissemens des objets contemplés par des microscopes.* 198

LETTRE CCI. *Proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Dévis de quelques microscopes simples.* 203

- LETTRE CCII. Bornes & défauts des microscopes simples. pag. 206
- LETTRE CCIII. Sur les Télescopes, & leur effet. 211
- LETTRE CCIV. Lunettes d'approche ou de poches. 215
- LETTRE CCV. Sur leurs grossissemens. 220
- LETTRE CCVI. Défauts des lunettes de poches. Du champ apparent. 225
- LETTRE CCVII. Détermination du champ apparent pour les lunettes de poches. 230
- LETTRE CCVIII. Lunettes astronomiques & leurs grossissemens. 234
- LETTRE CCIX. Sur leur champ apparent, & le lieu de l'œil. 237
- LETTRE CCX. Détermination du grossissement d'une lunette astronomique, & construction de lunettes qui grossissent les objets un nombre de fois donné. 243
- LETTRE CCXI. Degré de clarté. 247
- LETTRE CCXII. Ouverture des objectifs. 252
- LETTRE CCXIII. Netteté dans l'expression : sur l'espace de diffusion causée par l'ouverture des objectifs, & considérée comme la première source du défaut de netteté dans la représentation. 257
- LETTRE CCXIV. Diminution de l'ouverture des verres, & autres moyens de diminuer l'espace de diffusion & de la réduire même à rien. 262

- LETTRE CCXV. *Des objectifs composés.*
pag. 267
- LETTRE CCXVI. *Formation des objectifs
simples.* 271
- LETTRE CCXVII. *Seconde source du défaut
de netteté dans la représentation par les lu-
nettes. Différente réfrangibilité des rayons.*
276
- LETTRE CCXVIII. *Moyen de remédier à ce
défaut par des objectifs composés.* 281
- LETTRE CCXIX. *Autre moyen plus pratica-
ble.* 285
- LETTRE CCXX. *Récapitulation des qualités
d'une bonne lunette.* 290
- LETTRE CCXXI. *Lunettes terrestres à qua-
tre verres.* 294
- LETTRE CCXXII. *Arrangement des verres
dans ces lunettes.* 298
- LETTRE CCXXIII. *Précautions à observer
dans la construction des lunettes. Nécessité
de noircir l'intérieur des tubes. Diaphrag-
mes.* 302
- LETTRE CCXXIV. *Comment les lunettes nous
représentent la lune, les planètes, le soleil
& les étoiles fixes : pourquoi ces dernières*

paroissent plus petites par les lunettes qu'à l'œil. Estime de la distance des étoiles fixes en comparant leurs grandeurs apparentes avec celle du soleil. pag. 306

LETTRE CCXXV. *Pourquoi la lune ☾ le soleil paroissent plus grands au lever ☾ au coucher, qu'à une certaine hauteur? Difficultés pour expliquer ce phénomène. 310*

LETTRE CCXXVI. *Réflexions sur cette question, ☾ applanissement des difficultés. Explications absurdes. 314*

LETTRE CCXXVII. *Acheminement à la vraie explication de ce phénomène. La lune paroît plus éloignée à l'horizon, au haut du ciel. 318*

LETTRE CCXXVIII. *Les espaces du ciel paroissent sous la forme de voute aplatie vers le zénith. 322*

LETTRE CCXXIX. *Raisons de l'affoiblissement de la lumière des astres à l'horizon. 327*

LETTRE CCXXX. *Illusions sur la distance des objets ☾ l'affoiblissement de la lumière. 330*

LETTRE CCXXXI. *Sur le bleu du ciel. 334*

LETTRE CCXXXII. *Ce que nous observerions, si l'air étoit parfaitement transparent.*
pag. 338

LETTRE CCXXXIII. *Réfraction des rayons de la lumière dans l'atmosphère, & ses effets. Des crépuscules; du lever & du coucher apparens des astres.*
342

LETTRE CCXXXIV. *Les astres nous paroissent plus élevés qu'ils ne le sont. Table des réfractions.*
346

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES
DU TOME III.



LETTRES

ÉCRITES

A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE

SUR DIVERS SUJETS

DE

PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

LETTRE CLV.

MADAME,

VOTRE ALTESSE jugera, sans-doute, qu'il est tems de quitter l'électricité; aussi n'ai-je plus rien à dire sur ce sujet; mais je ne suis pas sans embarras pour trouver une matière digne de votre attention.

Je crois que pour ce choix, je dois avoir égard aux matières qui intéressent le plus nos connoissances, & dont les écrivains parlent souvent; matières, sur lesquelles on peut prétendre, que les personnes de qualité soient suffisamment instruites.

Tom. III.

A.

V. A. ayant sans-doute souvent entendu parler du fameux problème des longitudes, sur la solution duquel les Anglois ont promis de grands prix, je crois que mes instructions feront bien placées, quand elles tendront à la mettre au fait de cette question importante, liée si étroitement avec la connoissance de notre globe qu'il n'est pas permis de l'ignorer; ce qui me fournira l'occasion d'expliquer quantité d'articles intéressans, dont l'éclaircissement fera plaisir à V. A.

Je commencerai donc par une description générale de la terre, qui peut être regardée comme un globe, quoiqu'on ait trouvé dans ces derniers tems, que sa véritable figure est une sphéroïde tant soit peu aplatie; mais la différence est si petite, que nous pouvons bien la laisser de côté.

Nous devons remarquer premièrement sur le globe terrestre, les deux points placés sur sa surface nommés les deux poles de la terre. C'est autour de ces deux points, que le globe tourne chaque jour, comme tourneroit un globe qu'on tient fixe entre les deux pointes d'un tour; ce mouvement est nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque tour s'achève environ en 24 heures. Ou si nous voulons parler selon les apparences, V. A. fait que le ciel, que nous regardons comme une boule creusée au milieu de laquelle se trouve la terre, paroît tourner autour d'elle dans le même espace de 24 heures; ce

mouvement se fait aussi autour de deux points fixes dans le ciel, qu'on nomme poles du ciel; & si nous concevons une ligne droite tirée d'un des poles du ciel à l'autre, elle passera par le milieu de la terre.

V. A. comprend aisément que les apparences doivent être les mêmes, que la terre tourne autour de ces poles, le ciel restant en repos, ou que le ciel tourne autour de ses poles, la terre demeurant en repos. L'une & l'autre considération nous conduit également à la connoissance des poles de la terre, sur laquelle l'astronomie & la géographie sont fondées.

La *fig. 1. Tab. I.* représente le globe de la terre, dont les poles sont les points A & B; l'un de ces poles A est nommé le *pole austral*, ou *méridional*, & aussi *pole antarctique*. L'autre pole B est nommé *boréal*, ou *septentrional* soit *pole arctique*; ce dernier est le plus proche des endroits que nous habitons.

Remarquons que ces deux poles sont directement opposés l'un à l'autre; & que si l'on tiroit une ligne droite de l'un A & de l'autre B, en-dedans de la terre, elle passeroit précisément par le milieu C, c'est-à-dire, par le centre de la terre. Cette ligne droite AB porte aussi son nom, & se nomme *axe de la terre*, qui prolongé de part & d'autre jusqu'au ciel, y marquera les points qu'on nomme poles du ciel, & auxquels on donne les mêmes noms qu'à ceux de la terre.

Ces deux poles de la terre ne sont pas une

simple fiction, ni une spéculation des astronomes & des géographes, mais plutôt des points très-essentiels, marqués sur la surface de notre terre; car nous savons que plus on s'en approche plus les contrées deviennent rudes & froides, de sorte que les pays qui sont autour sont absolument inhabitables, à cause du froid excessif qui y règne: aussi ne trouve-t-on pas d'exemples qu'aucun voyageur ni aucun vaisseau ait pu parvenir jusqu'à l'un ou l'autre des pôles; on peut donc dire que ces deux endroits de la terre sont absolument inaccessibles.

Ayant ainsi déterminé les deux pôles de la terre A & B on la conçoit partagée en deux hémisphères comme DBE & DAE, dont chacune porte, dans son sommet, l'un des pôles. Il faut, pour cet effet, couper la terre par son centre C, de sorte que la section soit perpendiculaire à l'axe de la terre; cette section marquera, sur la surface de la terre, un cercle qui passe tout autour d'elle, & qui est éloigné partout également des deux pôles. Ce cercle qui entoure la terre par son milieu porte le nom *d'équateur*; les pays qui en sont près sont les plus chauds, & presque inhabitables, à ce que croyoient les anciens, mais aujourd'hui, on les trouve assez habités, quoique la chaleur y soit presque insupportable.

En s'éloignant de l'équateur de part & d'autre vers les pôles, les contrées deviennent de plus en plus tempérées, jusqu'à ce que le froid devienne enfin insoutenable, lorsqu'on s'en approche trop.

Comme l'équateur partage la terre en deux hémisphères, chacun porte le nom du pôle qui s'y trouve; ainsi la moitié D B E, qui contient le pôle boreal, est nommée *hémisphère boreal*, dans lequel est située l'Europe, presque toute l'Asie, une partie de l'Afrique & la moitié de l'Amérique. L'autre hémisphère D A E est nommé *hémisphère méridional* ou *austral*, & contient la plus grande partie de l'Afrique, l'autre moitié de l'Amérique & plusieurs isles, qu'on rapporte à l'Asie, comme V. A. l'aura vu sur la mappe-monde.

le 18 Août 1761.

LETTRE CLVI.

APRÈS avoir bien fixé l'idée des poles & de l'équateur, que V. A. peut mieux s'imaginer sur un globe que je ne puis le représenter par une figure, les autres idées dont nous avons besoin en suivront aisément.

Je dois cependant y ajouter encore un plus grand éclaircissement. L'axe de la terre passant d'un pôle à l'autre par le centre, est le diamètre du globe de la terre, & par conséquent, deux fois plus grand que le rayon; on estime le rayon de la terre, ou la distance de chaque point de la surface au centre de 8600 milles d'Allemagne; l'axe de la terre contiendra donc, 1720 milles d'Allemagne. Et l'équateur étant

un cercle dont le centre est au centre de la terre, le rayon étant le même que celui de la terre, savoir, de 860 milles, le diamètre de l'équateur fera aussi de 1720 milles; toute la circonférence de l'équateur contiendra 5400 milles; ou si l'on vouloit faire le tour de la terre en suivant l'équateur, il faudroit parcourir un chemin de 5400 milles; on peut juger par-là de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le divise en 360 parties égales, qu'on nomme *dégrés*; un degré de l'équateur contient donc précisément 15 milles d'Allemagne, puisque 15 fois 360 font 5400.

Chaque degré est encore subdivisé en 60 parties égales, qu'on nomme *minutes*, de sorte que chaque minute contient la quatrième partie d'un mille d'Allemagne, ou environ 6000 pieds; & une *seconde*, étant la soixantième partie d'une minute, contiendra 100 pieds.

Dans l'impossibilité de représenter sur le papier un globe autrement que par un cercle, V. A. y suppléera par l'imagination. Ainsi, *Tab. 1. fig. 2.* B, A, étant les deux poles de la terre; B, le boréal & A, l'austral; DMNE représentera l'équateur, ou plutôt la moitié qui en est tournée vers nous, l'autre nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous représente donc un demi-cercle aussi bien que BDA & BEA, tous ces demi-cercles ayant leurs centres à celui du globe C. On peut s'imaginer une infinité d'au-

tres demi-cercles, tous tirés par les deux poles A & B de la terre & passant d'autant de points différens de l'équateur qu'il y a de demi-cercles différens, comme BMA, BNA; ceux-ci feront tous semblables aux premiers demi-cercles BDA & BEA; quoique dans la figure, leurs traits soient très-différens, l'imagination doit y suppléer, car la chose est très-évidente sur un globe.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pole à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils passent, sont nommés *méridiens*; ou plutôt, un *méridien* n'est autre chose qu'un demi-cercle qui, sur la surface de la terre, est tiré d'un pole à l'autre; & V. A. comprend que, prenant un lieu quelconque sur la surface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA qui, passant par les deux poles, traverse ce lieu L. On nomme alors ce méridien, *le méridien du lieu L*. Si par exemple L étoit Berlin, le demi-cercle BLMA feroit le méridien de Berlin; & ainsi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. peut se représenter un globe, sur la surface duquel sont dessinés tous les pays de la terre; le continent aussi bien que la mer avec ses isles. Ce globe artificiel, qu'on appelle *globe terrestre*, ne peut pas être inconnu à V. A. Quant à tous les méridiens, qu'on peut y concevoir, & dont un grand nombre est tiré sur le globe, je remarque, que chacun étant un demi-cercle, est partagé par l'équateur en deux

parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire, un arc de 90 degrés. Ainsi BD, BM, BN, BE sont des quarts de cercle, aussi bien que AD, AM, AN & AE; chacun contient donc 90 degrés: on y peut encore ajouter, que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec lui des angles droits.

De plus, si l'on vouloit voyager du point de l'équateur M jusqu'au pôle B, le plus court chemin feroit de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 degrés, & un degré contenant 15 milles d'Allemagne, le plus court chemin feroit de 1350 milles, qu'il faudroit parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des poles.

V. A. se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre, est la ligne droite tirée par ces deux lieux; ici la ligne droite tirée du point M de l'équateur jusqu'au pôle B tomberoit au-dedans de la terre, route impossible à suivre, parceque nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est pourquoi la question devient bien différente, quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe, qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, & dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit.

ici ; car pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pôle B ; l'arc du méridien M L B , que j'ai dit être le chemin plus court , est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même , si nous considérons le lieu L situé dans le méridien B L M A , le plus court chemin pour aller de-là jusqu'au pôle B , fera l'arc L B ; & sachant le nombre de degrés que cet arc contient , en comptant 15 milles pour chaque degré , on aura la longueur du chemin. Mais si l'on vouloit aller de ce même lieu à l'équateur , par le plus court chemin , il faudroit suivre la route de l'arc du méridien L M , dont le nombre de degrés , on comptant 15 milles par chaque , donneroit la longueur du chemin.

On se contente d'exprimer ces chemins par degrés , puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne , & que d'autres nations se servent de milles plus grands ou plus petits. Ainsi , prenant la ville de Berlin pour le lieu L , on trouve que l'arc L M qui conduit à l'équateur , contient 52 degrés & demi ; par conséquent pour aller de Berlin à l'équateur , le plus court chemin est de 787 milles & demi. Mais si l'on vouloit aller de Berlin au pôle boréal ou septentrional B , il faudroit suivre la route de l'arc B L , qui contenant 37 degrés & demi , fera 562 milles & demi. Ces deux chemins donnent ensemble 1350 milles pour la longueur de l'arc B L M , qui est un quart de cercle de

90 degrés, dont la valeur est, comme nous avons vu, de 1350 milles d'Allemagne.

le 22 Août 1761.

LETTRE CLVII.

JE commence encore par la même figure, *Tab. I. fig. 3.* qui sera déjà bien familière à V. A. Le cercle entier représente le globe de la terre; les points A & B, ses deux poles; B le pole boréal, septentrional ou arctique; A le pole austral; méridional, ou antarctique; de sorte que la ligne droite BA tirée au-dedans de la terre & passant par son centre C soit l'axe de la terre. Ensuite DME est l'équateur qui la divise en deux hémisphères, l'un DBE boréal & l'autre DAE méridional.

Considérons maintenant un lieu quelconque L & tirons son méridien BLMA, qui étant un demi-cercle, passe par ce lieu L & par les deux poles B & A. C'est donc le méridien du lieu L, partagé par l'équateur en M en deux parties égales faisant deux quarts de cercle, dont chacun contient 90 degrés. Ensuite je remarque que l'arc LM de ce méridien nous donne la distance du lieu L à l'équateur, & que l'arc LB exprime la distance du même lieu L au pole B.

Cela posé, il est bon de remarquer que l'arc

LM, ou la distance de L à l'équateur est nommé la *latitude du lieu* L; desorte que la latitude d'un lieu sur la terre n'est autre chose que l'arc du méridien de ce lieu, qui est intercepté entre l'équateur & le lieu proposé; ou bien la latitude d'un lieu est la distance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette distance par degrés, dont nous connoissons la valeur puisque chaque degré contient 15 milles d'Allemagne.

V. A. comprend aisément, qu'il faut distinguer cette distance, selon que le lieu se trouve ou dans l'hémisphère boréal, ou dans l'hémisphère austral; dans le premier cas, si le lieu proposé est dans l'hémisphère boréal ou *septentrional*, on dit qu'il a une *latitude boréale*; mais s'il est dans l'hémisphère austral ou *méridional*, on dit que sa *latitude* est *méridionale*.

Ainsi, quand il est question de Berlin, on dit que sa latitude boréale est de 52 degrés & 31 minutes; la latitude de Magdebourg est aussi *boréale* de 52 degrés & 19 minutes. Mais celle de Batavia aux Indes orientales est *méridionale* de 6 degrés 15 minutes; & celle du Cap de bonne espérance en Afrique est aussi *méridionale* de 34 degrés 15 minutes.

Je remarque ici en passant, que pour abrégé, au lieu du mot *dégré* on met un petit zéro (^o) au-dessus du nombre, & au lieu du mot *minute* une petite barre ([']), & s'il y a des *secondes*, on en met (^{''}); c'est ainsi que la latitude de Paris à l'observatoire est 48° 50'. 10'' B. ce qui veut dire 48 degrés, 50 minutes & 10 se-

condes boréales. Il y a au Pérou un endroit nommé Vlo , dont on a trouvé la latitude de $17^{\circ} . 36' . 15''$ M. ou bien 17 degrés 36 minutes & 15 secondes méridionales. D'où V. A. comprend , que si l'on parloit d'un lieu , dont la latitude fût $0^{\circ} . 0' . 0''$. ce lieu seroit précisément sous l'équateur , puisque sa distance de l'équateur est zéro ou nulle ; & il n'est pas nécessaire d'y ajouter la lettre B , ou M. Mais si l'on parvenoit à un lieu , dont la latitude fut 90° B , ce lieu seroit précisément le pôle boréal même de la terre , qui est éloigné de l'équateur d'un quart de cercle ou de 90 degrés. V. A. entendra parfaitement à présent , ce que c'est que la latitude d'un lieu , & pourquoi on l'exprime par degrés , minutes & secondes.

Il est très important de connoître la latitude de chaque lieu , non-seulement pour assigner à chacun sa vraie place sur les cartes géographiques , mais parce que c'est d'elle que dépendent les saisons de l'année , l'inégalité des jours & des nuits , & par conséquent la température des lieux. Il n'y a presque point de variation dans les saisons pour les endroits situés sous l'équateur même , & pendant toute l'année les jours & les nuits y font de même durée , savoir de 12 heures ; c'est pourquoi l'équateur est aussi nommé la ligne équinoxiale ; mais plus on s'éloigne de l'équateur , plus la différence entre les saisons de l'année devient marquée , & plus aussi les jours sur-

passent les nuits en été, & réciproquement, en hyver, les jours sont plus courts que les nuits.

V. A. fait que les plus longs jours sont au commencement de l'été vers le 12 de Juin : conséquemment les nuits sont alors les plus courtes ; au commencement de l'hyver au contraire, vers le 23 de Décembre, les jours sont les plus courts & les nuits les plus longues : de manière que, par-tout, le plus long jour est égal à la plus longue nuit. Or en chaque lieu, la durée du plus long jour dépend de la latitude du lieu. Le plus long jour à Berlin est de 16 heures 38 minutes, & par conséquent le plus court en hyver est de 7 heures 22 minutes. Aux endroits plus près de l'équateur, ou dont la latitude est moindre que celle de Berlin, qui est $52^{\circ}. 32'$, le plus long jour en été a moins de 16 heures 38 minutes, & en hyver le jour le plus court a plus de 7 heures 22 minutes. Il arrive le contraire aux endroits plus éloignés de l'équateur ; à Petersbourg, par exemple, dont la latitude est 60 degrés, le plus long jour est de 18 heures 30 minutes & par conséquent la nuit n'est alors que de 5 heures 30 minutes ; en hyver au contraire la nuit la plus longue y est de 18 heures 30 minutes & le jour n'est alors que de 5 heures 30 minutes. Si l'on s'éloigne encore davantage de l'équateur, & qu'on parvienne à un lieu dont la latitude soit de $66^{\circ}. 30'$, le plus long jour y est précisément de 24 heures, ou bien le soleil ne s'y couche

pas alors ; tandis qu'en hyver le contraire arrive , le soleil ne s'y levant point du tout le 23 Décembre , & la nuit durant alors 24 heures. Or dans les lieux encore plus éloignés de l'équateur & conséquemment plus proches du pôle , comme Warthuys dans la Laponie suédoise , ce plus long jour de 24 heures y dure plusieurs jours de suite , pendant lesquels le soleil ne se couche absolument pas ; & la plus longue nuit , où le soleil ne se lève pas du tout , est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pôle même , nous y aurions du jour pendant six mois de suite , & pendant les six autres une nuit continue. V. A. doit en conclure combien il est important de bien connoître la latitude de tous les lieux de la terre.

le 22 Août 1761.

LETTRE CLVIII.

AYANT eu l'honneur de dire à V. A. que pour trouver le méridien d'un lieu proposé L , il faut tirer sur la surface de la terre un demi - cercle BLMA , qui passe par les deux poles B & A , & par le lieu proposé L ; je remarque *Tab. I. fig. 4.* qu'il y a une infinité d'autres endroits par lesquels ce même méridien passe , & qui par conséquent sont

aits tous situés sous le même méridien, soit dans l'hémisphère boréal entre B & M, soit dans l'hémisphère méridional ou austral entre M & A.

Or tous les lieux situés sous un même méridien différent en latitude, les uns étant plus proches ou plus éloignés de l'équateur que les autres. C'est ainsi que le méridien de Berlin passe par la ville de Meisse, à-peu-près par le port de Trieste, & par quantité d'autres lieux moins remarquables.

V. A. voit aussi que bien des lieux peuvent avoir la même latitude, ou être également éloignés de l'équateur, mais qu'ils sont tous situés sous des méridiens différens. En effet, si L est la ville de Berlin, dont la latitude ou l'arc LM contient $52^{\circ}. 31'$, on peut assigner sous tout autre méridien BNA, un lieu I, dont la latitude ou l'arc IN est aussi $52^{\circ}. 31'$; ces lieux sont aussi les points F & G pris dans les méridiens BDA & BEA. Comme donc on peut tirer par chaque point de l'équateur un méridien, dans lequel il y aura un endroit dont la latitude fera la même que celle de Berlin ou du lieu L, on aura une infinité de lieux, qui auront tous la même latitude. Ils seront tous situés dans un cercle FLIG, dont les points étant tous également éloignés de l'équateur, il est nommé *cercle parallèle* à l'équateur, ou simplement un *parallèle*. Un parallèle sur la terre n'est donc autre chose qu'un cercle parallèle à l'équateur,

ou dont tous les points en sont également éloignés; d'où il est clair que tous les points d'un parallèle sont aussi également éloignés des poles de la terre.

Comme on peut tirer dans chaque lieu de la terre un tel parallèle, on peut en concevoir une infinité, qui différent tous entr'eux par rapport à la latitude, chacun ayant une latitude, soit boréale, soit australe, qui lui est propre.

V. A. comprend aussi que plus la latitude est grande, ou plus on approche de l'un des poles, plus les parallèles deviennent petits, jusqu'à ce qu'enfin aux poles mêmes, où la latitude est de 90° , ces parallèles se réunissent dans un seul point. Mais, au contraire, plus on approche de l'équateur, ou plus la latitude est petite, plus aussi les parallèles sont grands, & ils se confondent enfin avec l'équateur même, lorsque la latitude est zero ou nulle. C'est aussi par la latitude qu'on les distingue, ainsi le parallèle de 30° degrés est celui qui passe par tous les lieux dont la latitude est de 30° degrés, où l'on doit pourtant s'expliquer, si l'on parle d'une latitude boréale, ou d'une latitude méridionale.

En consultant les cartes géographiques, V. A. verra qu'Hanovre est situé sous le même parallèle que Berlin, la latitude de l'un & de l'autre étant $50^{\circ} 31'$, & que les villes de Brunswick & d'Amsterdam tombent presque sous le même parallèle; mais que les méridiens
qui

qui passent par ces endroits sont différens. Or connoissant le méridien & le parallèle sous lequel un lieu est situé, on en fait la véritable place sur la terre. Si l'on nous disoit par exemple qu'un certain endroit est situé sous le méridien B N A & sous le parallèle F L G, on n'auroit qu'à voir où le méridien B N A est coupé par le parallèle F L G, & l'intersection I donnera la véritable place de l'endroit proposé.

C'est de ce moyen dont se servent les géographes pour déterminer la véritable position de tous les endroits de la terre. Il ne s'agit que d'en connoître le parallèle, ou la latitude, & le méridien qui lui répond. Pour le parallèle, il est aisé de le marquer & de le distinguer de tous les autres ; on n'a qu'à indiquer la latitude ou la distance de l'équateur qui sera boréale ou méridionale : mais comment pourra-t-on décrire un méridien & le distinguer de tous les autres ? Ils se ressemblent parfaitement, ils sont tous égaux entr'eux, & aucun ne porte une marque essentielle préféablement aux autres. Il dépend donc uniquement de notre bon plaisir de choisir un certain méridien & de le fixer, pour en déduire tous les autres. Si, par exemple, dans la figure mise au commencement de cette lettre, on choisissoit le méridien B D A, il seroit aisé de nous donner une description de tout autre méridien comme B M A, on n'auroit qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc D M,

compris entre le méridien fixe B D A & celui dont il est question B M A, pourvû qu'on ajoute en quel sens on doit partir du méridien fixe, pour passer à l'autre, si c'est vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte tous les autres, *le premier méridien*, & puisque le choix de ce premier méridien dépend de notre bon plaisir, V. A. ne sera pas surprise, si les diverses nations ne sont pas d'accord là-dessus. Les François ont choisi pour cet effet l'Isle de Fer qui est une des Canaries, & c'est de cette isle qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands & les Hollandois font passer le leur par une autre isle des Canaries, nommée Ténériffe. Mais soit qu'on suive les François ou les Allemands, il faut toujours bien marquer sur l'équateur le point par lequel passe le premier méridien, & de ce point on compte ensuite par degrés, les points par lesquels passent tous les autres méridiens, & tant les François que les Allemands sont d'accord de compter de l'occident vers l'orient.

Si donc le demi-cercle B D A étoit dans notre figure le premier méridien, & que les points de l'équateur M & N fussent situés vers l'orient, on n'a, pour marquer tout autre méridien B M A, qu'à indiquer la grandeur de l'arc DM, & cet arc est ce qu'on nomme la *longitude* de tous les lieux situés sous le méridien B M A. S'il étoit question des lieux

situés sous le méridien B N A, leur longitude seroit l'arc de l'équateur D N exprimé en degrés, minutes & secondes.

le 29 Août 1761.

L E T T R E C L I X.

V. A. est bien instruite à présent, sur ce qu'on nomme la latitude & la longitude d'un lieu sur la terre. La latitude se compte sur le méridien du lieu proposé jusqu'à l'équateur, ou bien elle est la distance du parallèle qui passe par le lieu proposé à l'équateur, à quoi, pour ôter toute ambiguïté, il faut ajouter si cette distance soit latitude est boréale ou méridionale.

Pour la longitude, il faut voir combien le méridien du lieu proposé est éloigné du premier méridien, & on compte cet éloignement sur l'équateur, depuis le premier méridien jusqu'au méridien proposé, en allant toujours de l'occident à l'orient; ou bien la longitude est la distance du méridien du lieu proposé depuis le premier, en comptant les degrés sur l'équateur, comme je viens de le dire.

On compte donc toujours du premier méridien vers l'orient, & V. A. comprend que quand on aura compté jusqu'à 360 degrés, on retournera précisément au premier méridien.

dien, puisque 360 degrés achèvent toute la circonférence de l'équateur : ainsi, quand on parle d'un endroit dont la longitude seroit 359 degrés, le méridien de cet endroit ne fera éloigné du premier méridien que d'un degré, mais vers l'ouest ou l'occident ; de même 350° de longitude conviennent avec une distance de 10° vers l'ouest ou l'occident. C'est donc pour éviter toute ambiguïté, que, dans la détermination des longitudes, on continue de compter jusqu'à 360° vers l'orient.

V. A. fera sans-doute curieuse de savoir pourquoi les géographes se sont accordés d'établir le premier méridien par quelque une des isles Canaries ? J'ai l'honneur de lui répondre, qu'on a voulu se régler sur les limites de l'Europe vers l'occident, & que comme on regarde les isles Canaries, (situées dans la mer Atlantique au-delà de l'Espagne vers l'Amérique,) comme faisant encore partie de l'Europe, on a jugé à propos de faire passer le premier méridien par la plus réculée des isles Canaries, afin qu'on puisse compter les autres méridiens sans interruption, non-seulement par toute l'Europe, mais par toute l'Asie : d'où, continuant de compter vers l'orient, on parvient en Amérique, & de-là on retourne enfin au premier méridien.

Mais à quelle de ces isles Canaries donner la préférence ? Quelques géographes François ont choisi l'isle de Fer, & les Allemands celle de Ténériffe, parce qu'on n'étoit pas

assez sûr alors de la véritable situation de ces isles, & qu'on ne savoit peut-être pas laquelle étoit plus réculée; d'ailleurs les Allemands ont crû que la montagne nommée Pic de Ténériffe, étoit pour ainsi dire, marquée par la nature pour y faire passer le premier méridien.

Quoiqu'il en soit, il est presque ridicule de faire passer le premier méridien par un endroit dont la situation n'est pas bien connue; car ce n'est que depuis peu de tems, qu'on a mieux déterminé la position des Canaries. En conséquence, les astronomes qui employent le plus d'exactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien, de façon que celui de l'observatoire de Paris en soit précisément éloigné de 29 degrés, sans se soucier par quel endroit passe alors le premier; c'est sans-doute le plus sûr parti qu'on puisse prendre; & pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen est d'en chercher l'éloignement de celui de Paris; alors si cet autre méridien est plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 degrés pour avoir la longitude des lieux qui y sont situés; mais si ce méridien est plus vers l'occident que celui de Paris, on soustrait leur distance de 20 degrés; enfin si cette distance vers l'occident est de plus de 20 degrés, on la soustrait de 360 degrés, soit de 20 degrés au-delà des 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainsi le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de $11^{\circ}. 7', 15''$,

la longitude de Berlin fera $31^{\circ}. 7'. 15''$; & c'est aussi la longitude de tous les autres lieux qui sont situés sous le même méridien que Berlin.

De même le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 degrés que celui de Paris; la longitude de Pétersbourg fera 48° .

Le méridien de Londres à St. James est plus vers l'occident que celui de Paris de $2^{\circ}. 25'. 15''$; donc en ôtant cette quantité de 20° , le reste $17^{\circ}. 34'. 45''$ donne la longitude de Londres à St. James.

Considérons aussi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien est éloigné de celui de Paris de $70^{\circ}. 9'. 30''$ vers l'occident, qu'il faut par conséquent soustraire de 380° ; & l'on trouvera la longitude de Lima $309^{\circ}. 50'. 30''$.

Or quand on connoît la latitude & la longitude d'un endroit, on est en état de marquer son vrai lieu sur le globe terrestre, ou sur une carte géographique; car comme la latitude marque le parallèle, sous lequel l'endroit est situé, & que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallèle coupe le méridien, fera exactement le lieu proposé.

V. A. n'a qu'à jeter les yeux sur une carte géographique; par exemple, sur celle de l'Europe; elle verra les degrés des parallèles marqués des deux côtés, ou leurs distances de l'équateur, &, en haut & en bas,

les degrés de longitude soit les éloignemens des méridiens du premier méridien.

On trace ordinairement sur les cartes les paralleles & les méridiens, de degré en degré, ou seulement de 5 en 5 degrés. Dans la plupart des cartes, les méridiens sont tirés de haut en bas, & les paralleles de gauche à droite; le haut est dirigé vers le Nord; le bas vers le Sud, ou le midi: le côté droit vers l'orient ou l'Est; & le côté gauche vers l'occident soit l'Ouest.

Il faut aussi remarquer que, puisque tous les méridiens concourent dans les deux poles, plus deux méridiens approchent d'un pole, plus leur distance sera petite; c'est toujours sous l'équateur, où la distance entre deux méridiens est plus grande. Aussi, sur toutes les bonnes cartes où les méridiens sont tracés, V. A. verra qu'ils s'approchent toujours vers le haut, le Nord, & que leurs distances deviennent plus grandes en s'approchant de l'équateur: ce qui sert à une meilleure intelligence des cartes géographiques, par lesquelles on a tâché de nous représenter la surface ou une partie de la surface du globe.

Mais mon but principal est de démontrer comment la véritable position de chaque lieu de la terre est déterminée par sa latitude & sa longitude.

le 1 Septembre 1761

L E T T R E C L X.

P U I S qu'il est si important de connoître la latitude & la longitude de chaque lieu, pour savoir à quel point on se trouve sur la surface de la terre, V. A. jugera aisément qu'il l'est tout autant de découvrir les moyens propres à nous y conduire.

Il n'y a rien de plus intéressant pour un homme qui arrive après un long voyage dans un endroit, sur terre, ou sur mer, que d'apprendre en quel lieu de la terre il se trouve alors; s'il est proche de quelque pays connu, ou non, & quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le seul moyen de tirer cet homme d'embarras, fera sans-doute de lui découvrir la latitude & la longitude du lieu où il est: mais que fera-t-il pour parvenir à cette découverte? Supposons le sur mer, ou dans quelque vaste désert, où il ne peut consulter aucun habitant. Après s'être assuré au moyen d'un globe terrestre ou des cartes géographiques de la latitude & de la longitude du lieu où il est, il y remarquera aisément le point de sa demeure, & fera en état de tirer tous les éclaircissemens dont il a besoin.

Je démontrerai à V. A. que c'est l'astronomie, qui nous fournit principalement les moyens de connoître la latitude & la longitude du lieu où nous nous trouvons; mais pour

ne pas ennuyer V. A. par le long détail de toutes les méthodes que les astronomes ont découvertes pour cet objet important, je me contenterai de lui en présenter une idée générale, & j'ose me flatter qu'elle sera suffisante pour faire comprendre à V. A. les principes sur lesquels toutes les méthodes sont fondées.

Je fais d'abord la recherche de la latitude, qui n'est presque assujettie à aucune difficulté, tandis que celle de la longitude semble surpasser encore la portée de l'esprit humain, surtout lorsqu'on se trouve en mer & qu'on exige la dernière précision : c'est pourquoi l'on a mis, sur sa recherche, des prix très-considérables, pour encourager davantage les savans à réunir leur capacité & leurs travaux, pour une découverte aussi importante, qui devient doublement intéressante par l'honneur & par le gain qu'elle procurera à l'inventeur.

Je reviens à la latitude & aux moyens de la découvrir, renvoyant à un autre tems de parler plus amplement de la longitude & des différentes méthodes de la découvrir, sur-tout en mer.

Que dans la *fig. 5. Tab. I.* les points B & A soient les poles de la terre; B A son axé & C son centre; que le demi-cercle B D A représente un méridien, coupé par l'équateur au point D, & BD, AD feront des quarts de cercle ou des arcs de 90 degrés. La ligne droite CD fera donc un rayon de l'équateur & D E son diamètre.

Soit maintenant dans ce méridien BDA , le point L , le lieu proposé dont il faut chercher la latitude, ou bien le nombre de degrés que contient l'arc LD , qui mesure la distance du point L à l'équateur; ou encore, tirant le rayon CL , puisque l'arc CD est la mesure de l'angle DCL que je nommerai y , cet angle y exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or comme il ne nous est pas permis d'entrer au centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au pôle boréal du ciel P , qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC , qui aboutira dans le ciel au point Z qu'on nomme le zénith du lieu; ensuite tirant par L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL , V. A. se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle & qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu E : notre horizon touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L vers le pôle du ciel P , lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée, sera parallèle à la ligne ABP , ou à l'axe de la terre; ce pôle du ciel paroîtra donc entre le zénith & l'horizon LT & l'angle TLQ indiqué par la lettre m montrera combien la droite LQ dirigée au pôle, est élevée au-dessus de l'horizon; d'où cet angle m est nommé *l'élevation du pôle*.

V. A. a déjà sans-doute assez souvent enten-

du parler de l'élévation du pôle, qu'on nomme aussi la *hauteur du pôle*, & qui n'est autre chose que l'angle que la ligne droite LQ , dirigée vers le pôle du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous sommes. V. A. comprend aisément la possibilité d'observer cet angle m par le moyen d'un instrument astronomique, sans que j'aie besoin d'entrer dans un plus grand détail là-dessus.

Quand on aura mesuré cet angle m , soit la hauteur du pôle, il nous donnera précisément la latitude du lieu L , ou bien l'angle y . Pour cet effet il ne faut que faire voir que ces deux angles m & y sont égaux.

Or la ligne LQ étant parallèle à CP , les angles m & n sont alternes, & conséquemment égaux. Et la ligne LT étant perpendiculaire au rayon CL , l'angle L du triangle CLT sera droit, & les deux autres angles n & x du même triangle feront aussi un angle droit. Mais puisque l'arc BD est un quart de cercle, l'angle BCD sera aussi droit, les deux angles x & y sont donc autant, étant ajoutés ensemble, que les deux angles n & x . Otons de part & d'autre l'angle x , alors l'angle y sera égal à l'angle n , & par conséquent aussi à l'angle m .

J'ai déjà fait remarquer, que l'angle y exprime la latitude du lieu L , & l'angle L , l'élévation ou la hauteur du pôle au même endroit L ; donc la latitude d'un endroit est toujours égale à la hauteur du pôle à ce même endroit. Les moyens que l'astronomie nous fournit, pour

observer la hauteur du pôle, nous donnent donc la latitude que nous cherchons.

C'est ainsi que les observations astronomiques faites à Berlin, nous ont appris, que la hauteur du pôle y est $52^{\circ} 31'$, & nous en avons conclu que la latitude y est aussi $52^{\circ} 31'$.

C'est un exemple bien remarquable, comment le ciel peut nous éclaircir sur des choses qui ne sont relatives qu'à la terre.

le 5 Septembre 1761.

LETTRE CLXI.

JE passe maintenant à la longitude, & je remarque, qu'en partant par mer ou par terre d'un lieu connu, on pourra trouver aisément la longitude du lieu où l'on sera parvenu, si l'on connoît exactement la longueur du chemin & la route qu'on a tenue; elle peut même se trouver alors sans le secours de l'astronomie, & cela mérite bien que je m'explique plus distinctement à V. A.

On mesure la longueur du chemin par pieds, on fait combien de pieds il faut pour un mille, & combien de milles pour un arc d'un degré de la terre: c'est ainsi qu'on pourra exprimer par degrés le chemin qu'on aura fait.

Pour la route ou la direction du chemin, il faut bien connoître la position du méridien à

chaque lieu où l'on se trouve. Comme le méridien va d'un côté au pôle boréal, ou vers le nord, & de l'autre au pôle méridional, ou vers le sud; on n'a qu'à tirer sur l'horizon où l'on se trouve, une ligne droite du nord vers le sud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut se donner toutes les peines possibles pour tracer bien exactement cette ligne méridienne, & c'est où le ciel doit encore nous servir de guide.

V. A. fait qu'il est midi, quand le soleil se trouve le plus élevé au-dessus de l'horizon; or c'est alors que le soleil se trouve précisément vers le sud, & l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement sur un plan horizontal, tombera à l'instant précisément vers le nord; d'où il est aisé de comprendre, comment les observations du soleil nous fournissent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes sont aisément déterminées.

Soit dans la figure ci-jointe, *Tab. I. fig. 6.* la ligne droite NS la méridienne, l'extrémité N étant dirigée vers le nord & le bout S vers le sud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OW, dont l'extrémité O sera dirigée vers l'orient, qu'on nomme *ost* en allemand, & l'autre extrémité W vers l'occident, qu'on nomme *west*. Après avoir divisé le cercle en seize parties égales, on au-

ra autant de directions nommées par les lettres y-jointes, & en cas qu'on suive une route qui ne convienne pas exactement avec une de ces feize, on marque l'angle qu'elle fait avec la méridienne NS, ou avec la ligne OW qui lui est perpendiculaire.

C'est par ce moyen qu'on pourra connoître exactement la route qu'on tient en voyageant; & toutes les fois qu'on est bien assuré de la longueur du chemin, & de la route qu'on aura suivie, il est fort aisé de déterminer le vrai lieu où l'on fera parvenu, & d'en assigner même tant la latitude que la longitude. On se sert pour cela d'une bonne carte géographique qui contienne le lieu d'où l'on est parti, & celui où l'on est arrivé; & moyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un mille, on pourra tirer sur cette carte le chemin qu'on aura parcouru.

La figure ci-jointe *Tab. I. fig. 7.* représente une carte où sont marqués par degrés les parallèles de gauche à droite & les méridiens de haut en bas, & l'on y voit aussi, que les méridiens sont plus proches les uns des autres en haut vers le nord, qu'en bas vers le sud; comme cela est sur la terre.

Cette carte renferme une partie de la surface de la terre depuis 53 degrés de latitude boréale, jusqu'au 59^e degré; & depuis 13 degrés de longitude jusqu'au 26^e degré.

Supposons donc qu'on soit parti du lieu L, dont la longitude est 16° & la latitude 57° 20' & qu'on ait tenu la route OSO sur laquelle

on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude & la latitude du lieu où l'on fera parvenu, on tire du lieu L la ligne droite LM, qui fasse avec le méridien 16, 16, le même angle que fait dans la figure précédente la direction OSO avec N. Ensuite, sur cette ligne, qu'on prenne selon l'échelle marquée dans la carte LM de 75 milles d'Allemagne, & le point M fera le lieu où l'on fera parvenu.

On n'a puis qu'à comparer ce lieu avec les méridiens & les parallèles tracés sur la carte, & l'on verra que sa longitude tombe très-près du 24^e degré, & en mesurant plus exactement la partie du degré à ajouter au 24^e degré, on trouvera la longitude du point M de 24° 4'. Pour la latitude, on voit qu'elle se trouve entre le 55^e & 56^e degré, & on l'estimera aisément de 55° 25'; desorte que du lieu M, où l'on est parvenu, la latitude est 55° 25' & la longitude 24° 4'.

J'ai supposé ici qu'on a suivi pendant tout le voyage la même route, marquée OSO; mais si l'on changeoit de route de tems en tems, on n'auroit qu'à faire pour chaque changement la même opération, pour trouver le lieu où l'on a été alors, & ensuite, de ce lieu, on tracera la route suivante, jusqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau, & ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen on fera toujours en état dans les voyages de connoître les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on

sache toujours exactement la route qu'on tient, & qu'on mesure aussi exactement le chemin qu'on parcourt.

On pourroit même se passer alors des secours de l'astronomie, à moins qu'on n'en eut besoin pour connoître au juste la route, ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la boussole peut souvent suppléer à ce besoin.

V. A. sent cependant bien, qu'on peut se tromper considérablement dans l'estime de la route & de la longueur du chemin, sur-tout dans de fort longs voyages. Combien de fois ne faut-il pas changer de route d'ici à Magdebourg seulement? & comment mesurer exactement la longueur du chemin? Mais quand le voyage se fait par terre, on n'est pas réduit à cet expédient; on est en état de mesurer par des opérations géométriques les distances des lieux, & les angles que les distances font avec la méridienne de chaque endroit; & c'est par ce moyen qu'on détermine assez exactement la véritable situation de tous les lieux.

le 8 Septembre 1761.

LETTRE CLXII.

LA méthode d'observer la route qu'on tient, & la longueur du chemin parcouru, semble être d'un très-grand secours dans les voyages
par

par mer, parcequ'on n'y est pas obligé de changer de route à tout moment, comme quand on voyage par terre; car tant qu'on a le même vent, on peut poursuivre la même route.

Aussi les pilotes qui dirigent les vaisseaux, sont-ils très-attentifs à observer exactement la route que tient le vaisseau, & à mesurer le chemin qu'il parcourt; ils tiennent un journal exact de toutes ces observations, & à la fin de chaque jour, & plus souvent encore, ils tracent sur leurs cartes marines le chemin qu'ils ont parcouru, & sont en état par ce moyen de marquer sur les cartes pour chaque tems, le point où ils se trouvent, & dont ils connoissent par conséquent la latitude & la longitude. Aussi tant que le cours se fait régulièrement, & que le vaisseau n'est pas agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent guères: mais quand ils sont en doute, ils ont recours aux observations astronomiques, d'où ils tirent la hauteur du pôle, qui étant toujours égale à la latitude du lieu où ils se trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée sur la carte, conformément à l'estime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, leur estime est juste; s'ils découvrent quelque différence, ils en concluent avec certitude qu'ils se sont trompés dans l'estime du chemin & de la route; ils examinent alors l'un & l'autre plus soigneusement, & tâchent d'y apporter les corrections nécessaires, pour accorder l'estime avec l'observation de la hauteur du pôle, ou de la latitude qui lui est égale.

Cette précaution peut être suffisante dans de petits voyages, parceque les erreurs qu'on y commet n'y font presque d'aucune conséquence, mais dans des voyages de long cours, ces petites erreurs peuvent s'accumuler au point, qu'à la fin, on se trompe très-grossièrement, de manière que le lieu où l'on se trouve effectivement diffère considérablement de celui où l'on s'imagine se trouver sur la carte.

J'ai supposé jusqu'ici que le voyage se fait assez paisiblement : mais s'il survient une tempête, pendant laquelle le vaisseau est assujetti aux plus fortes secousses du vent & des flots ; il est bien clair que l'estime de la longueur du chemin & de la route est entièrement dérangée, & qu'il n'est plus possible de tracer sur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourroit bien déterminer par des observations astronomiques, après ce dérangement, la latitude du lieu où l'on se trouve, mais cela ne découvreroit que le parallèle de ce lieu, & on resteroit toujours très-incertain sur le point de ce parallèle qui répond au lieu du vaisseau.

Il faut donc reconnoître aussi la longitude du lieu, qui nous montre le méridien sous lequel il est situé : & alors l'intersection de ce méridien avec le parallèle trouvé, donnera le véritable endroit du vaisseau. V. A. comprend par-là, combien il est important de mettre les pilotes en état de découvrir aussi la longitude du lieu où ils se trouvent.

Ce ne sont pas seulement les tempêtes qui

mettent dans cette nécessité; car on peut, le voyage se faisant paisiblement, se tromper très-grossièrement dans l'estime tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvoit supposer que la mer fut en repos, on auroit bien des moyens de s'en assurer assez exactement, quoique cela pourroit causer des aberrations très-considérables dans des voyages de long cours. Mais la mer a en plusieurs endroits des courans rapides, desorte qu'elle ressemble à une rivière qui court suivant une certaine direction. C'est ainsi qu'on a observé que la mer atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la méditerranée; & que le grand océan atlantique, entre l'Afrique & l'Amérique, a un courant très-considérable de l'orient vers l'occident, tellement qu'on va beaucoup plus vite de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courans étoient constans & connus, ce feroit un grand secours pour régler notre estime; mais on a observé qu'ils sont tantôt plus, tantôt moins rapides, & qu'ils changent souvent de direction; ce qui dérange tellement l'estime des plus habiles pilotes, qu'on ne faudroit plus s'y fier sans s'exposer au plus grand danger. On n'a que trop d'exemples, que des vaisseaux croyoient être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés sous la mer, lorsqu'ils y sont échoués & périés. On s'est aperçu après, que les courans de la mer avoient

causé ces malheurs , parceque l'estime des pilotes en avoit été dérangée.

En effet , lorsque la mer a un mouvement qui la fait couler comme une rivière , suivant une certaine direction , les vaisseaux qui s'y trouvent , sont emportés sans s'en appercevoir. On s'apperçoit aisément qu'on est emporté par une rivière en regardant le rivage , ou le fonds : mais en mer on ne voit aucune terre , & la profondeur est trop grande pour voir le fonds. On ne peut donc pas s'appercevoir sur mer si l'on est emporté , & c'est pourquoi l'on se trompe très-groffièrement , tant par la route , que pour la longueur du chemin. Qu'on ait donc égard ou non aux tempêtes , on est toujours obligé de chercher d'autres moyens , pour déterminer la longitude des lieux où l'on arrive ; & c'est des divers moyens proposés jusqu'ici pour parvenir à cette connoissance de la longitude , que j'aurai l'honneur d'entretenir V. A.

le 12 Septembre 1761.

LETTRE CLXIII.

UN moyen très-sûr de trouver la longitude , feroit une horloge , une montre , ou une pendule si parfaite , c'est-à-dire , qui marchât toujours si également & si exactement , qu'aucune secousse ne fut capable d'en altérer le mouvement.

Supposé qu'on fut parvenu à exécuter une telle horloge, voyons comment, par son moyen, on feroit en état de résoudre le problème des longitudes. Il faut pour cela retourner à la considération des méridiens, qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

V. A. fait, que le soleil fait tous les jours un tour autour de la terre, & qu'il passe par conséquent successivement au-dessus de tous les méridiens, dans le tems de vingt-quatre heures.

Or *Tab. I. fig. 8.* on dit que le soleil passe *au-dessus* ou *par* un certain méridien, si la ligne droite tirée du soleil au centre de la terre C passe précisément par ce méridien. Si donc, à présent, la ligne tirée du soleil au centre de la terre passoit par le méridien B L M A, on diroit que le soleil passe par ce méridien, & alors il feroit midi en tous les lieux situés sous ce méridien : mais sous tout autre, il ne feroit pas midi dans ce même moment; ce feroit donc avant ou après.

Si le méridien B N A est situé plus vers l'orient que le méridien B M A : le soleil en faisant son tour de l'orient à l'occident passera par le méridien B N A avant que de parvenir au méridien B M A, il fera donc plutôt midi sous le méridien B N A que sous celui B M A ; par conséquent lorsqu'il sera midi sous ce dernier méridien, le midi sera déjà passé sous tout autre situé vers l'orient, où il sera déjà après midi. Au contraire il sera encore avant midi sous tout méridien B D A situé

plus vers l'occident, parceque le soleil n'y parvient qu'après avoir déjà passé par le méridien B M A.

Et comme le mouvement du soleil se fait uniformément, & qu'il achève le tour entier de la terre, c'est-à-dire 360 degrés, en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 degrés. Donc lorsqu'il est midi à Berlin, & à tout autre lieu situé sous ce même méridien, le midi sera déjà passé sous les méridiens situés plus vers l'orient; &, en particulier, sous le méridien éloigné vers l'orient de 15 degrés de celui de Berlin, il sera déjà une heure; sous le méridien éloigné de 30 degrés, deux heures; sous celui éloigné de 45 degrés, trois heures après midi, & ainsi de suite. Le contraire arrivera aux lieux situés sous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin; & s'il est midi ici, il ne sera que 11 heures avant midi sous le méridien éloigné de 15 degrés; 10 heures avant midi sous le méridien éloigné de 30 degrés; 9 heures avant midi sous le méridien éloigné de 45 degrés vers l'occident, & ainsi de suite; une différence de 15 degrés entre les méridiens, produisant toujours une heure de différence dans le tems.

Pour éclaircir mieux encore ce que nous venons de dire, considérons les villes de Berlin & de Paris: & puisque le méridien de Berlin est de 11 degrés 7 min. 15 sec. plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 degrés, cette différence de 11 degrés

7 min. 15 sec. donnera 44 minutes & 29 secondes, ou à-peu-près trois quarts d'heures. Donc lorsqu'il est midi à Paris, il sera déjà à Berlin 44 min. 29 sec. après midi, & réciproquement, lorsqu'il est midi à Berlin, il sera 11 heures 15 min. 31 sec. à Paris; desorte que le midi n'y arrivera que 44 min. 29 sec. après. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges à Berlin doivent être plus avancés qu'à Paris, & que cette différence doit faire 44' 29".

La différence entre les méridiens de Berlin & de Magdebourg est d'un degré 14 min. dont Berlin est plus à l'orient que Magdebourg: cette différence réduite en tems, donne 6 minutes 40 secondes, que les horloges de Berlin doivent marquer plus vite que ceux de Magdebourg. Par conséquent s'il est midi à Magdebourg, & que les horloges, que je suppose bien réglées, y marquent XII heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même instant 12 heures 6 min. 40 sec., desorte qu'il y soit déjà après midi.

V. A. voit par-là qu'à mesure que les lieux diffèrent en longitude, ou qu'ils sont situés sous des méridiens différens, les horloges bien réglées y doivent aussi marquer des heures différentes au même instant, & que cette différence doit être d'une heure entière, lorsque celle en longitude est de 15 degrés: chaque 15 degrés en longitude produisant une heure de tems, pour la différence que des horloges

bien réglées doivent marquer dans ces différens endroits au même moment.

Si l'on vouloit donc se servir d'une horloge pour trouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faudroit d'abord la bien régler en quelqu'endroit qu'on se trouve : ce règlement se fait sur l'observation de midi, qui est le moment, où le soleil passe par le méridien de ce lieu, & l'horloge doit montrer précisément alors XII heures. Elle doit être ensuite tellement ajustée que, toujours après vingt-quatre heures, lorsque le soleil retourne au méridien, l'indice, après avoir fait deux tours entiers, revienne exactement sur XII heures : si cela est bien observé, de telles horloges bien réglées ne feront d'accord en différens endroits, que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien ; mais s'ils sont situés sous des méridiens différens, ou qu'il y ait une différence entre leurs longitudes, les tems que les horloges marqueront au même moment seront aussi différens ; enforte qu'à chaque différence de 15 degrés en longitude, réponde une heure entière de différence dans les tems marqués par les horloges.

Connoissant donc cette différence entre les tems que des horloges bien réglées marquent en différens endroits, au même instant, on en conclura aisément la différence qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 degrés pour une heure, & un quart de degré pour une minute.

le 15 Septembre 1761.

L E T T R E C L X I V .

V^r. A. fera moins surprise de la différence du tems que les horloges bien réglées doivent indiquer sous différens méridiens, quand elle réfléchira que lorsqu'il est midi chez nous, il y a des pays vers l'orient, où le soleil se couche déjà, & que vers l'occident, il y en a où le soleil ne fait que se lever : il faut donc bien qu'il soit déjà soir chez ceux-là & encore matin chez ceux-ci au même instant qu'il est midi chez nous. V. A. fait d'ailleurs que chez nos antipodes, qui se trouvent sous le méridien opposé au notre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous ; desorte que lorsqu'il est midi chez nous, il sera minuit chez eux.

Il me fera aisé, après ces éclaircissemens, de faire voir comment une bonne horloge peut servir à nous faire connoître la différence des méridiens, soit la différence en longitude de divers endroits.

Supposons que j'aie cette excellente horloge qui, une fois bien réglée, montre tous les jours exactement le tems * juste qu'il fait à Berlin, desorte que toutes les fois qu'il est midi à Berlin, elle indique précisément XII heures : supposons encore qu'elle marche si régulièrement, que je n'aye plus besoin d'y toucher, après l'avoir réglée une fois, & que

* Il faut entendre le tems moyen, dont le rapport au tems vrai est connu par les tables astronomiques. L'auteur a crû devoir se dispenser de faire ici cette distinction, qui l'auroit mené dans des détails trop longs.

sa marche ne soit point dérangée soit que je la mette dans une voiture, soit qu'elle soit à bord d'un vaisseau en pleine mer, exposée à des secousses & à toutes sortes d'agitations.

Que je fasse maintenant avec cette horloge un voyage par terre ou par mer, parfaitement assuré que cette horloge conserve toujours le même mouvement, comme si j'étois resté à Berlin; elle me marquera chaque jour XII heures au même moment qu'il est midi à Berlin, & cela où que je me trouve. Dans ce voyage j'arrive d'abord à Magdebourg : j'y observe le soleil lorsqu'il passe par le méridien, ce qui arrive lorsqu'il se trouve exactement vers le Sud; & puisque dans ce moment il fait midi à Magdebourg, je regarde mon horloge & je m'apperçois qu'elle montre alors, 12 heures 6 min. 40 sec. d'où je conclus, que quand il est midi à Magdebourg, il est déjà après midi à Berlin & que la différence est 6'. 40'' de tems, qui répondent à 1°. 40' dont le méridien de Magdebourg est plus vers l'occident que celui de Berlin. Puis donc que la longitude de Berlin est 31°. 7'. 15'', la longitude de Magdebourg fera de 1°. 40' plus petite, ou bien elle fera 29°. 27'. 15''.

Je vais de-là à Hambourg, avec mon horloge, à laquelle je ne touche point, & y observant le midi (car je ne me fierois pas aux horloges publiques, qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déjà 12 heures 13'. 33'', desorte qu'à Berlin il est

déjà $13^{\circ}. 33''$. après midi, lorsqu'il est midi à Hambourg; & j'en conclus que le méridien de Hambourg est de $3^{\circ}. 23^{\circ}. 5''$, plus vers l'occident que celui de Berlin: en comptant 15° pour une heure, & par conséquent un degré pour 4 minutes de tems, d'où l'on trouve que $13^{\circ}. 33''$ de tems donnent $3^{\circ}. 23^{\circ}. 15''$, pour la différence des méridiens. La longitude de Hambourg sera donc $27^{\circ}. 44'$.

A Hambourg je m'embarque sur un vaisseau avec mon horloge, & ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes observations du soleil), je vois que mon horloge ne montre que $10^{\circ}. 58^{\circ}. 15''$; desorte qu'à Berlin il est encore avant midi dans ce moment, la différence étant 1 heure $1^{\circ}. 45''$; d'où je conclus, que le lieu où je suis arrivé, est plus vers l'orient que Berlin & puisque 1 heure donne 15 degrés, une minute de tems $15'$, & $45''$ de tems $11^{\circ}. 15''$, la différence des méridiens sera $15^{\circ}. 26^{\circ}. 15''$. Je me trouve donc dans un lieu situé plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude est de $15^{\circ}. 26^{\circ}. 15''$, plus grande que celle de Berlin; laquelle étant $31^{\circ}. 7^{\circ}. 15''$, la longitude au lieu où je me trouve sera $46^{\circ}. 33^{\circ}. 30''$. Ainsi je fais sous quel méridien je me trouve, mais je suis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet j'ai recours aux observations astronomiques, & je cherche la hauteur du pôle que je trouve précisément

de 41° . Sachant de plus que je suis encore dans l'hémisphère boréal de la terre, n'ayant point passé l'équateur, j'apprens que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude est de 41° boréale, & la longitude $46^{\circ} 33' 30''$; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude est $46^{\circ} 33' 30''$; je cherche le lieu dont la latitude est 41° , & je trouve que ce lieu est la ville de Constantinople, sans que j'aie eu besoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce soit.

Ainsi, en quelqu'endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, & ensuite l'observation de la hauteur du pôle m'en montrera la latitude. Je n'ai alors qu'à prendre un globe terrestre, ou de bonnes cartes géographiques, & il me fera aisé de marquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelque'inconnu que me soit d'ailleurs le pays.

Il est bien malheureux que les plus habiles horlogers n'aient pas encore pu réussir à faire des horloges aussi excellentes que cette méthode l'exige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent régulièrement, qu'autant qu'elles sont fixées dans un appartement tout-à-fait tranquille; les moindres secousses & les plus légers ébranlemens étant capables de les déranger: ces pendules sont donc absolument inutiles pour les voyages. Aussi comprend-on aisément, que le

mouvement du pendule qui en règle la marche, ne fauroit souffrir les agitations auxquelles il feroit exposé dans le voyage. Il y a cependant environ dix ans, qu'un ouvrier Anglois s'est vanté d'avoir construit une horloge insensible aux secousses du voyage, & même on a prétendu, qu'après l'avoir fait courir long-tems dans un carosse, on n'y avoit pas remarqué le moindre dérangement; sur quoi l'inventeur reçut une partie du prix destiné à la découverte de la longitude, & le reste devoit lui être payé, après l'épreuve d'un long voyage par mer; mais depuis ce tems les gazettes n'en ont plus parlé; d'où il est à présumer, que cette entreprise a échoué comme quantité d'autres faites pour ce dessein.

le 19 Septembre 1761.

LETTRE CLXV.

A défaut de l'excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de présenter une idée à V. A., on a regardé jusqu'ici les éclipses de lune comme le moyen le plus sûr pour découvrir les longitudes; mais ces phénomènes arrivent si rarement, qu'on ne peut pas s'en servir toutes les fois qu'on en a besoin.

V. A. fait, que la lune s'éclipse lorsqu'elle

passé par l'ombre de la terre : on peut remarquer alors le moment où la lune commence à s'y enfoncer & celui où elle en sort ; le premier est nommé le commencement de l'éclipse, & l'autre la fin ; & quand on les observe tous deux , le tems moyen entr'eux est nommé le milieu de l'éclipse. La lune s'enfonce quelquefois toute entière dans l'ombre de la terre , & reste pendant quelque tems tout-à-fait invisible ; c'est alors une éclipse totale , pendant laquelle on peut remarquer le moment où la lune disparoît entièrement , & celui où elle recommence à sortir de l'ombre ; celui-là est nommé commencement de l'obscurcissement entier , & celui-ci la fin. Mais quand il n'y a qu'une partie de la lune qui soit obscurcie , cette éclipse s'appelle partielle , & on ne peut y remarquer que les momens du commencement & de la fin. V. A. fait d'ailleurs que les éclipses de lune n'arrivent qu'au tems des pleines lunes & assez rarement.

Quand donc on observe une éclipse de lune en deux lieux différens , situés sous différens méridiens , on y verra bien le commencement de l'éclipse au même moment , mais les horloges ne marqueront pas la même heure ni le même tems : je parle des horloges bien réglées , dont chacune montre précisément XII heures , lorsqu'il est midi au lieu où elle se trouve. Si ces lieux sont situés sous le même méridien , les horloges montreront bien le même tems , au commencement & à la fin de

l'éclipse : mais si les deux méridiens sont éloignés l'un de l'autre de 15 degrés, ou que la différence de leurs longitudes soit de 15°, les horloges doivent diférer d'une heure entière, du commencement de l'éclipse jusqu'à la fin, l'horloge du lieu situé plus près de l'orient montrera une heure de plus que l'autre ; la différence de 30° en longitude, causera celle de deux heures dans le tems marqué par les horloges ; & ainsi de suite selon la table ci-jointe.

Différence en Longitude.				
15	dégrés	font	1	heure.
30	dits	. . .	2.	
45	dits	. . .	3.	
60	dits	. . .	4.	
75	dits	. . .	5.	
90	dits	. . .	6.	
105	dits	. . .	7.	
120	dits	. . .	8.	
135	dits	. . .	9.	
150	dits	. . .	10.	
165	dits	. . .	11.	
180	dits	. . .	12.	

Si donc la différence en longitude étoit de 150°, les horloges diféreroient de 10 heures du commencement à la fin de l'éclipse.

Ainsi quand on observe la même éclipse en deux endroits différens, & qu'on marque exactement le tems de l'horloge au moment du commencement de l'éclipse, on pourra conclure de la différence entre les tems marqués, combien ces lieux diffèrent en longitudes. Or, celui où le tems est plus avancé, sera situé plus vers l'orient, & par conséquent sa longitude plus grande, puisqu'on compte les longitudes de l'occident à l'orient.

C'est aussi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, & qu'on a dressé les cartes géographiques conformément à ces déterminations. Mais il falloit toujours comparer les observations faites dans un lieu dont la longitude n'étoit pas encore connue, avec celles qui ont été faites dans un lieu connu, & attendre jusqu'à ce qu'on put faire cette comparaison. Si j'étois donc parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, & que l'occasion se présentât d'y observer une éclipse de lune, cela ne me serviroit de rien pour connoître d'abord ma longitude; ce n'est qu'à mon retour, que je pourrois comparer mon observation avec une autre faite dans un lieu connu, & j'apprendrois ainsi trop tard où j'étois alors. L'essentiel est de pouvoir m'éclaircir sur le champ là-dessus, pour prendre mes mesures.

Aussi peut-on se satisfaire depuis qu'on connoît si exactement le mouvement de la lune, qu'on est en état, non-seulement de prédire
toutes

toutes les éclipses, mais de marquer le moment du commencement & de la fin, suivant l'horloge d'un lieu connu. V. A. fait que nos almanacs de Berlin marquent toujours le commencement & la fin de chaque éclipse, suivant l'horloge de Berlin. On peut donc, quand on veut faire un long voyage, acheter un almanac de Berlin, & si l'occasion se présente d'observer une éclipse de lune dans un endroit inconnu, il faut en marquer exactement le tems suivant une montre bien réglée sur midi, & comparer les momens du commencement & de la fin de l'éclipse avec ceux de l'almanac, pour s'assûrer de la différence entre le méridien de Berlin & celui qui passe par l'endroit où l'on se trouve.

Il se trouve cependant dans cette méthode, outre la rareté des éclipses de lune, l'inconvénient de ne pouvoir pas distinguer assez exactement le moment du commencement ou de la fin de l'éclipse, qui arrivent presque insensiblement, & qu'on peut bien se tromper de plusieurs secondes. Mais comme l'erreur sera à-peu-près la même pour la fin & pour le commencement, on cherche le milieu entre les deux momens observés, qui sera celui de l'éclipse, & on le compare ensuite avec celui que l'almanac marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Et si les almanacs de l'année suivante ne sont pas encore imprimés, quand on veut voyager, ou que le voyage ait à durer quel-

ques années, on trouve des livres où les éclipses sont déjà calculées pour plusieurs années de suite.

le 22 Septembre 1761.

LETTRE CLXVI.

LES éclipses de soleil peuvent encore servir à déterminer les longitudes, mais d'une autre manière, qui demande des recherches plus profondes, parce que le soleil lui-même ne souffre alors aucun obscurcissement; ce n'est que la lune qui se met devant lui, & qui empêche ses rayons de parvenir jusqu'à nous, comme quand on porte un parasol pour s'en garantir, ce qui n'empêche pas que d'autres n'en voyent tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre-t-elle le soleil qu'à une partie des habitans de la terre, & nous pouvons voir une éclipse de soleil à Berlin, pendant que sa lumière n'éprouve aucun affoiblissement à Paris.

Mais la lune est réellement éclipsee par l'ombre de la terre; sa propre lumière en est diminuée ou éteinte, d'où résulte que les éclipses de lune sont vues de la même manière, par-tout où elle se trouve sur l'horizon au tems de l'éclipse.

Il n'échappe pas à la pénétration de V. A. que s'il y avoit au ciel d'autres corps qui souf-

frissent de tems-en-tems quelque'obscurcissement réel, ils pourroient être employés avec le même succès que les éclipses de lune, à déterminer les longitudes. Les satellites de Jupiter qui passent si souvent dans l'ombre de leur planète, qu'il ne se passe presque point de nuit, qu'il n'y en ait un d'éclipse, peuvent être mis dans ce rang, enforte que leurs éclipses nous fournissent un moyen très-propre à déterminer les longitudes; aussi les astronomes s'en servent-ils avec grand succès.

V. A. fait que Jupiter a quatre satellites qui font leurs révolutions autour de lui, chacun dans son orbite, comme je le représente ici *Tab. II. fig. I.* par les cercles décrits autour de Jupiter: j'y ai représenté aussi le soleil, pour marquer l'ombre A O B derrière le corps de Jupiter. On voit dans cette figure le premier satellite marqué 1 prêt à entrer dans l'ombre, le second marqué 2 vient d'en sortir, le troisième 3 est encore fort éloigné d'y entrer, & le quatrième 4 en est sorti dès longtems.

Sitôt qu'un des satellites entre dans l'ombre, il devient invisible & assez promptement; de sorte qu'en quelque'endroit que se trouve la terre, on voit éclipser subitement le satellite qu'on avoit vû jusques-là assez distinctement. Cette entrée d'un satellite dans l'ombre de Jupiter est nommée *immersion* & sa sortie de l'ombre *émersion*; c'est alors qu'on voit repa-

roître subitement le fatellite qui a été invisible pendant quelque tems.

Les immersions & les émerfions font également propres à déterminer les longitudes, puifqu'elles arrivent dans un moment marqué; de forte que quand on observe un tel phénomène en plusieurs lieux diférens de la terre, on doit trouver dans les tems marqués felon les horloges de chaque lieu, autant de diférence, que l'exige celle qu'il y a entre les méridiens. Il en est de même que fi l'on observoit le commencement ou la fin d'une éclipse de lune; & la chose est alors fans aucune difficulté; on est déjà parvenu depuis quelque tems à prédire ces éclipses des fatellites de Jupiter, c'est-à-dire, leurs immersions & leurs émerfions, & on n'a qu'à comparer le tems observé avec le tems calculé pour un lieu connu, comme Berlin, pour conclure d'abord l'éloignement de son méridien avec celui de Berlin.

Auffi se fert-on par-tout de cette méthode dans les voyages par terre; mais on n'a pas encore trouvé moyen d'en profiter sur les vaisseaux, où le besoin en est bien plus important pour être assuré du lieu où l'on est. Si l'on pouvoit voir des yeux les fatellites de Jupiter aussi bien que la lune, cette méthode n'auroit aucune difficulté sur mer; mais on ne le peut qu'à travers d'une lunette de 4 ou 5 pieds au moins, circonstance qui cause un obstacle invincible.

V. A. fait combien il faut d'adresse quand on

se sert sur terre d'une lunette un peu longue , pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler , & pour la tenir fixe , sans perdre l'objet ; elle en conclura donc , qu'un vaisseau étant dans une agitation continuelle , il doit être presque impossible de découvrir seulement Jupiter ; & que quand on l'auroit trouvé , on le perd de vue au même instant. Or pour bien observer l'immersion ou l'émerfion d'un fatellite de Jupiter , il faut absolument qu'on puisse le regarder fixement pendant quelque tems ; & cela n'étant pas possible en mer , il paroît qu'il faut renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Il y a cependant deux moyens de remédier à cet inconvénient ; l'un de trouver des lunettes de six pouces ou moins encore , qui découvroient assez distinctement les fatellites de Jupiter ; & il n'est pas douteux qu'il ne soit beaucoup plus aisé de les manier que celles de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec un grand succès à la perfection de ces lunettes ; mais il reste à favoir si elles ne demanderont pas autant d'adresse pour les diriger , que les ordinaires qui sont plus longues.

L'autre moyen feroit de se ménager sur le vaisseau un siège si fixe & si immobile , qu'il n'en ressentit point les agitations ; il semble qu'un balancement adroit pourroit conduire à ce but. En effet , il n'y a pas long-tems que nous avons lu dans les gazettes , qu'un Anglois

prétendoit avoir inventé un siège ou chaise telle, qu'il prétendoit par-là au prix proposé sur la découverte des longitudes. Il avoit raison, puisqu'on pourroit par ce moyen observer en mer les immersions & émerfions des fatellites de Jupiter, qui font fans-doute très-propres pour les déterminer: mais dès-lors on n'en a plus entendu parler. V. A. jugera aisément d'après cela, à combien de difficultés la découverte des longitudes est assujettie.

le 26 Septembre 1761.

LETTRE CLXVII.

LE ciel nous fournit encore une ressource pour parvenir sans lunettes à la découverte des longitudes, à laquelle les astronomes paroissent donner la plus grande confiance. C'est la lune, non-seulement quand elle est éclipsée, mais toujours, pourvu qu'elle soit visible; avantage immense, puisque les éclipses sont si rares, & que les immersions & les émerfions des fatellites de Jupiter n'arrivent pas à notre gré; parcequ'il s'écoule tous les ans un tems considérable, pendant lequel la planète de Jupiter n'est pas visible, au lieu que la lune s'offre presque toujours à notre vue.

V. A. aura sans-doute déjà remarqué que la lune se lève tous les jours presque trois quarts

d'heure plus tard , parcequ'elle n'est pas attachée à un lieu fixe relativement aux étoiles fixes, qui conservent toujours la même situation entr'elles, quoiqu'elles paroissent emportées par le ciel, pour achever chaque jour leur révolution autour de la terre. Je parle ici selon les apparences; car c'est la terre qui tourne tous les jours autour de son axe, tandis que le ciel & les étoiles fixes demeurent en repos; & que le soleil & les planètes changent continuellement de place à l'égard des étoiles fixes. La lune faisant parmi les étoiles, d'un jour à l'autre, des changemens de place très-considérables, devient propre à déterminer les longitudes.

Si l'on voit aujourd'hui la lune près d'une certaine étoile fixe, elle en paroîtra demain, à la même heure, très-considérablement éloignée vers l'orient, & la distance surpasse même quelquefois 15 degrés. La vitesse de son mouvement n'est pas toujours la même, cependant on est parvenu à la déterminer très-exactement pour tous les jours; ce qui nous met en état de connoître d'avance sa vraie place dans le ciel, pour toutes les heures du jour, en rapportant les heures aux horloges qui sont sous un méridien connu, tel, par exemple, que celui de Berlin, ou de Paris.

Supposons donc, qu'après un long voyage, je me trouve en mer dans un lieu tout-à-fait inconnu, & voyons comment je pourrai me servir de la lune pour connoître la longitude du lieu où je suis; car il n'y a aucune diffi-

culté pour la latitude, pas même sur mer, où l'on a des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pôle, à laquelle la latitude est toujours égale. Toute mon attention se dirigera donc sur la lune, je la comparerai avec les étoiles fixes qui en sont plus près, & j'en conclurai sa véritable place relativement à elles. V. A. fait qu'on a des globes célestes, sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, & qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une carte céleste, où les étoiles fixes, dont la lune est voisine, sont exprimées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors; & ma montre, que j'aurois bien réglée là, après y avoir observé le midi, me marquera le tems de cette observation. Puis, par la connoissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure la lune a dû paroître au même lieu du ciel, où je l'ai vue. Si le tems observé convient parfaitement avec le tems de Berlin, ce sera une marque que le lieu où je suis est exactement sous le méridien de Berlin, & que par conséquent la longitude est la même. Mais si le tems de mon observation est différent de celui de Berlin, cette différence m'indiquera celle qui est entre les méridiens; & comptant 15 degrés pour chaque heure de tems, je conclurai de combien la longitude de cet endroit est plus ou moins grande que celle

de Berlin : la longitude du lieu qui a le tems le plus avancé, étant toujours la plus grande.

Tel est le précis de la manière de déterminer les longitudes par les simples observations de la lune. Je remarque que les plus heureux momens pour mieux réussir dans cette opération & bien déterminer le lieu de la lune, sont, lorsqu'une étoile fixe se cache derrière la lune ; on nomme cela occultation, & il y a deux momens à observer, celui où la lune par son mouvement couvre l'étoile, & celui où l'étoile reparoit. Les astronomes sont très-attentifs à bien saisir ces momens des occultations pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Je m'attends cependant à une objection de la part de V. A. à l'égard de la montre ou de l'horloge, dont je suppose que notre observateur sur mer est muni ; après avoir soutenu l'impossibilité que des horloges soient assez parfaites pour marcher toujours également malgré les secousses du vaisseau. Mais cette impossibilité ne regarde que les horloges qui restent justes pendant un très-long intervalle de tems, sans qu'on ait besoin de les régler : or pour les observations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être suffisante, pourvu qu'elle marche uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien réglée sur le midi du lieu où l'on se trouve ; quand on doute que l'on y puisse encore compter le soir ou la nuit, lorsqu'on observera la lune, les étoiles nous fourniront aussi des moyens très-sûrs pour la régler

de nouveau. Car puisque la situation du soleil par rapport aux étoiles fixes nous est parfaitement connue pour tout tems, l'observation seule de quelqu'étoile suffit pour déterminer le lieu où le soleil doit se trouver alors, d'où nous pouvons conclurre l'heure que l'horloge, bien réglée, devoit montrer. Ainsi, au même instant où nous aurons fait l'observation de la lune, nous sommes en état de régler aussi notre montre par les étoiles, & toute montre est censée marcher régulièrement pendant un si petit intervalle.

le 29 Septembre 1761.

LETTRE CLXVIII.

CETTE dernière méthode de trouver les longitudes, fondée sur les observations de la lune, semble mériter la préférence, puisque les autres sont assujetties à trop de difficultés, ou que l'occasion de s'en servir est très-rare. Et V. A. comprend assez que le succès dépend uniquement du grand degré de précision dans les opérations, & que les erreurs qu'on pourroit commettre, conduiroient à des conclusions sur lesquelles on ne sauroit compter. Il est donc fort important d'expliquer à V. A. quel degré de précision on peut espérer d'atteindre en mettant cette méthode en usage, fondée sur le changement considérable que la lune éprouve

d'un jour à l'autre dans sa place, nous pouvons conclurre de cette méthode, que si le mouvement de la lune étoit plus rapide, il feroit plus propre à nous découvrir les longitudes, & nous procureroit un plus haut degré de précision. Que si, au contraire, il étoit beaucoup plus lent, & que nous ne pussions presque pas discerner son changement d'un jour à l'autre, nous ne saurions en tirer aucun secours pour la connoissance des longitudes.

Supposons donc que la lune change de place parmi les étoiles fixes de 12 degrés en 24 heures; puisqu'en effet son changement est ordinairement plus considérable; elle changera donc d'un degré en 2 heures, & d'un demi-degré soit, 30 minutes en une heure; si nous nous trompions dans l'observation d'un lieu de la lune de 30 minutes, ce feroit comme si nous observions la lune une heure plutôt ou plus tard, & nous commettrions l'erreur d'une heure dans la conclusion, sur la différence des méridiens. Or une heure de différence dans les méridiens répond à 15 degrés dans leur longitude; par conséquent nous nous tromperions de 15 degrés dans la longitude même du lieu que nous cherchons; ce qui feroit sans-doute une erreur si énorme, qu'il vaudroit presque autant ne rien savoir du tout; & la seule estime du voyage, c'est-à-dire, du chemin & de la route, quelque incertaine qu'elle fut, ne nous jetteroit jamais dans une erreur si grossière. Aussi faudroit-il être bien mal-adroît pour se tromper

de 30 minutes sur la place de la lune, & les instrumens dont on se sert devroient être bien mauvais, ce qui n'est pas à préfumer.

Cependant, quelque excellens que soient les instrumens, & quelques soins qu'on y apporte, il est impossible d'éviter toute erreur, & il faut être bien habile pour ne pas se tromper d'une minute dans la détermination du lieu de la lune. Or, puisqu'il change de 30 minutes dans une heure, il changera d'une minute en deux minutes de tems. Quand donc on ne se trompe que d'une minute dans le lieu de la lune, il en naîtra dans la différence des méridiens l'erreur de deux minutes. Et une heure soit 60 minutes répondant à 15 degrés dans la longitude, il en résultera l'erreur d'un demi-dégré dans la longitude, & ce degré de précision pourroit bien être suffisant, pourvu que nous puissions y atteindre.

J'ai supposé jusqu'ici notre connoissance du mouvement de la lune si parfaite, que pour un méridien connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment, sans erreur; mais nous sommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas encore 20 ans qu'on se trompoit de plus de 6 minutes dans le calcul, & ce n'est que dès-lors, que l'habile professeur *Mayer* à Göttingue, poursuivant la route que j'avois proposée, est parvenu à diminuer cette erreur au-dessous d'une minute. Il pourroit donc bien arriver que du côté du calcul nous commissions aussi l'er-

reur d'une minute, qui jointe à celle d'une minute commise dans celle de l'observation du lieu de la lune, doublera celle qui en résultera sur la longitude du lieu où nous nous trouvons, & par conséquent elle pourroit bien monter à un degré entier : il est bon de remarquer encore que, si la lune parcouroit en 24 heures un espace plus grand que ne font 12 degrés, l'erreur dans la longitude seroit moins considérable. On trouvera peut-être moyen de diminuer encore les erreurs auxquelles nous sommes assujettis dans l'observation & dans le calcul ; alors cette méthode nous découvreroit la longitude à moins d'un degré près. Mais on peut espérer d'arriver dans cette perfection à un plus haut degré de précision. On n'a qu'à faire plusieurs observations, ce qui se peut si l'on reste plusieurs jours dans un endroit : il n'est pas à craindre alors que toutes les conclusions soient également défectueuses, quelques-unes marqueront la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite, & prenant un milieu entre toutes les conclusions, on pourra être sûr que cette longitude ne différera pas d'un degré de la vérité.

Les Anglois qui ont voulu par générosité encourager cette découverte, y ont mis un triple prix, l'un de 10000, le second de 15000 & le troisième de 20000 livres sterling. Le premier est destiné à celui qui aura trouvé les longitudes à un degré près, de manière qu'on puisse être sûr que l'erreur ne surpasse pas un

dégré. Le second à celui qui satisfera encore plus exactement à la question, enforte que l'erreur ne surpasse jamais deux tiers de degré ou 40 minutes. Le troisième sera donné à celui qui sera capable de déterminer les longitudes si exactement, que l'erreur n'aille jamais au-delà d'un demi-dégré soit trente minutes : l'on ne demande point un plus haut degré de précision. Ces prix se trouvent encore dans leur entier, outre la portion délivrée à l'horloger qui prétendoit avoir fait des montres parfaites. Mr. *Mayer* demande actuellement le plus haut prix, & je crois qu'il y a droit.

le 3 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXIX.

V. A. doit être suffisamment instruite sur la découverte des longitudes : j'ai eu l'honneur de lui exposer plusieurs voyes, qui peuvent conduire à leur détermination.

La première & la plus naturelle est d'observer soigneusement le chemin & la direction du voyage ; mais les courans & les tempêtes, auxquelles on est souvent exposé en mer, rendent cette méthode impraticable.

La seconde demande la construction d'une horloge si parfaite qu'elle marche toujours uniformément, non-obstant les secousses du voya-

ge ; ouvrage que les artistes n'ont pas trouvé encore le moyen d'exécuter.

La troisième est fondée sur l'observation des éclipses de lune , qui rempliroit tous les désirs si l'occasion n'en étoit pas si rare , qu'on ne peut pas s'en servir au besoin le plus pressant.

La quatrième regarde les éclipses des satellites de Jupiter , qui feroient très-propres à ce dessein , si l'on trouvoit le moyen de se servir sur mer des lunettes sans lesquelles on ne sauroit les voir.

Enfin les observations de la lune même nous ont fourni la cinquième , qui paroît la plus praticable , pourvu qu'on soit en état d'observer si exactement le lieu de la lune dans le ciel , que les erreurs , qu'on ne sauroit éviter , ne surpassent jamais une minute , pour être sûr qu'on ne se trompe pas de plus d'un degré dans la détermination de la longitude.

C'est sur ces cinq méthodes , que ceux qui ont travaillé jusqu'ici sur cette question , ont principalement dirigé leurs spéculations , mais il en est encore une sixième , qui semble aussi propre à nous conduire à la résolution de ce problème , si elle est mieux cultivée ; & qui peut-être nous fournira un jour le plus sûr moyen de trouver les longitudes ; quoiqu'en ce moment , nous en soyons fort éloignés encore.

Elle n'est pas tirée du ciel , mais uniquement attachée à la terre , étant fondée sur la nature de l'aimant & de la boussole. Son explication

m'ouvre une nouvelle carrière pour entretenir V. A. sur l'important article de la physique, qui regarde la force magnétique; & j'espère qu'elle sera charmée d'honorer de son attention les éclairciffemens que j'aurai l'honneur de lui présenter là-dessus.

Mes réflexions ne porteront que sur le sujet dont il s'agit ici, c'est-à-dire, sur la découverte des longitudes, & pour cet effet je remarquerai en général, que l'aimant est une pierre qui a la qualité d'attirer le fer & de se disposer selon une certaine direction, & qu'elle communique la même qualité au fer & à l'acier, quand on le frotte ou touche seulement d'un aimant; me proposant de mieux approfondir dans la suite cette qualité, & d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la description d'une aiguille aimantée, qui, montée d'une certaine manière pour l'usage de la navigation, porte le nom de boussole.

Pour cet effet on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à-peu-près de la *fig. 2. Tab. II.* dont le bout B est pointu pour mieux le distinguer de l'autre A; elle est munie au milieu C d'un petit chaperon creusé par le bas, pour mettre l'aiguille sur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la seconde figure.

Les deux parties s'ajustent de manière que l'éguille étant dans un parfait équilibre, puisse tourner librement ou rester fixe sur le pivot, en quelle situation qu'on la mette. Avant que
de

de l'aimanter, il est bon de la tremper, pour la rendre aussi dure qu'il est possible; puis en la frottant ou la touchant d'un aimant excellent elle fera d'abord magnétique. Les deux bouts ne se balanceront plus; mais l'un comme B descendra comme s'il étoit devenu plus pesant, & pour la rétablir en équilibre il faudroit ôter quelque chose du bout B, ou ajouter un petit poids à celui A; mais les ouvriers prévoyant ce changement causé par le magnétisme, font dès le commencement le bout B plus léger que celui A, afin que l'éguille aimantée prenne d'elle-même la situation horizontale.

Elle acquiert alors une autre propriété bien plus remarquable; elle n'est plus indifférente à toutes les situations, comme auparavant; mais elle en affecte une préféablement à toutes les autres, & se dispose d'elle-même de manière que le bout B est dirigé à-peu-près vers le nord, & le bout A vers le sud: & la direction de l'éguille aimantée se rapporte à-peu-près avec la ligne méridienne.

V. A. se souvient que, pour tracer la ligne méridienne qui nous montre le nord & le sud, il faut recourir aux observations astronomiques, puisque le mouvement du soleil & des étoiles détermine cette direction; & que quand on n'est pas pourvu des instrumens nécessaires, & sur-tout quand le ciel est couvert, on ne faudroit tirer aucun secours du ciel pour tracer la ligne méridienne; cette propriété de l'éguille aimantée est donc d'autant plus admirable;

qu'elle nous montre en tout tems & en tout lieu la direction vers le nord, d'où dépendent les autres vers l'est, sud & ouest; c'est pourquoy l'usage de l'éguille aimantée ou de la bouffole est devenue universelle, étant absolument nécessaire dans plusieurs occasions de connoître ces principales directions du globe.

C'est dans la navigation que la bouffole procure les plus grands avantages; le cours d'un vaisseau devant toujours être dirigé vers un certain côté du monde, pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction du cours qu'il faut tenir. Aussi n'étoit-on point en état avant cette découverte d'entreprendre de longs voyages par mer; à peine osoit-on s'éloigner des côtes, & dès qu'on les perdoit de vue, on risquoit de s'égarer, à moins que le ciel ne fut clair & que les étoiles ne montraissent les côtés du monde.

Un vaisseau en pleine mer, sans connoissance des côtés du globe, se trouve précisément dans l'état d'un homme qui, les yeux bandés, devroit marcher vers l'église du dome à Magdebourg; cet homme croiant aller d'un côté, iroit vers un autre. La bouffole est donc le principal guide dans la navigation; & ce n'est qu'après cette importante découverte, qu'on a hazardé de traverser le grand océan, & découvre le nouveau monde: & que feroit un pilote sans bouffole, pendant ou après une tempête, quand il ne peut tirer aucun secours du

ciel, quelque cours qu'il tienne, il ne fauroit pas s'il marche vers le nord, vers le sud, ou quelqu'autre côté du monde? Il s'égarerait bientôt au point de ne pouvoir plus se sauver. Mais la boussole le tire d'abord de cet embarras, & l'empêche de s'égarer en lui indiquant les côtés du monde. V. A. jugera donc combien la découverte de l'éguille aimantée ou de la boussole est importante.

le 6 d'Octobre 1761.

LETTRÉ CLXX.

QUOIQUE l'aiguille aimantée affecte la situation d'être dirigée du sud vers le nord; il y a des causes accidentelles, capables de déranger cette direction; qu'il faut éviter très-soigneusement. C'est le voisinage de quelque aimant, fer, ou acier. V. A. n'a qu'à présenter un couteau à une aiguille aimantée, elle quittera d'abord sa direction naturelle, pour aller vers le couteau, & en faisant tourner le couteau autour de l'aiguille, on lui fera prendre toutes les directions possibles. Pour être donc assuré que l'aiguille est dans sa direction naturelle, il faut en éloigner tout fer ou acier aussi bien que les aimans; chose d'autant plus facile, que ces matières n'en troublent la situation, que lorsqu'elles sont fort proches; une fois écartées,

leur effet devient insensible, pourvu que ce ne soit pas un aimant très-fort, qui pourroit bien agir sur l'aiguille à la distance de quelques pieds.

Mais le fer seul ne produit pas cet effet, puisqu'on peut se servir de bouffoles dans les mines même de fer. V. A. sent bien, que sous terre, dans les mines, on se trouve dans le même cas que sur mer, lorsque le ciel est couvert, & qu'on y est obligé de se régler sur les côtés du monde, en poussant les mines suivant une certaine direction. Aussi dresse-t-on des plans qui représentent la route de tous les tours & des allées creusées sous la terre, en se réglant uniquement sur la bouffole dans cet ouvrage; c'est l'objet de la science qu'on nomme géométrie souterraine.

Pour revenir à notre bouffole soit aiguille aimantée, j'ai remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à-peu-près; ce n'est effectivement que par abus, qu'on dit que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé que leur direction à Berlin s'écartoit de la véritable ligne méridienne, d'environ quinze degrés; or une aberration de 15° . est fort considérable.

La *fig. 3. Tab. II.* représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée du nord au sud, & ensuite celle qui lui est perpendiculaire, marquant à droite ost ou est, & à la gauche west ou ouest. Or l'aiguille aimantée A B, n'est pas dirigée sur la méridienne, mais s'en écarte de

l'angle BO *nord* qui est de 15° ; on nomme cet angle la *déclinaison* & quelquefois aussi la *variation* de la boussole ou de l'aiguille aimantée ; & puisque le bout le plus proche du nord B , qu'on nomme toujours le bout boréal, s'en écarte vers l'ouest ou vers l'occident, on dit que la déclinaison est occidentale de 15° .

Ayant donc déterminé la déclinaison de l'aiguille aimantée, on peut s'en servir aussi bien que si elle montroit précisément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, & on n'a plus qu'à marquer le nord à la juste distance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, & la ligne nord-sud nous marquera la vraie ligne méridienne, avec les quatre principaux côtés du monde, nord, est, sud, ouest.

Pour déguiser mieux le secret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le montre, mais l'aiguille n'est plus visible, le carton faisant avec elle un seul corps qu'on met au centre sur un pivot, afin que ce cercle de l'aiguille puisse tourner librement ; alors le cercle prend toujours la situation que le point marqué nord soit dirigé précisément vers le nord, pendant que le bout boréal de l'aiguille qu'on ne voit point, s'en écarte en effet d'un angle de 15° . vers l'occident. Cette construction ne sert qu'à déguiser la déclinaison, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il soit plutôt un objet digne de notre admiration, comme nous le verrons ensuite ;

& le carton ne faisant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empêche qu'elle ne tourne aussi librement que si elle étoit plus légère.

Pour prévenir cet accident, & se servir mieux de la bouffole, on pose l'aiguille dans une boîte ronde, dont la circonférence divisée en 360° , porte les noms des principaux côtés du monde. Au centre se trouve le pivot ou la pointe qui porte l'aiguille, qui prend d'abord une certaine direction; on tourne alors la boîte jusqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde au point juste dans la circonférence, c'est-à-dire, au quinzième degré, en comptant depuis le nord vers l'occident; dès-lors les noms marqués sur la circonférence conviendront avec les vrais côtés du monde.

On se sert cependant en mer d'aiguilles enchassées dans des cercles de carton, dont la circonférence est divisée en 360 degrés pour n'être pas obligé de tourner la boîte; alors le cercle de carton, qu'on nomme bouffole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaisseau pour savoir vers quel côté il court, si c'est au nord, au sud, à l'est, à l'ouest, ou à quelque direction moyenne. C'est aussi sur la bouffole, qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils soufflent; puisque c'est de-là qu'on leur impose des noms. Il faut cependant être bien assuré de la déclinaison soit variation de la bouffole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'ouest, mais elle pourroit être différente en d'autres en-

droits sur terre ; comme je le ferai voir dans la suite.

le 10 Octobre 1761.

LE T T R E C L X X I.

QUAND j'ai dit que la déclinaison de la boussole est de 15° vers l'occident, cela ne doit s'entendre que de Berlin & pour le tems présent ; car on a remarqué que non-seulement cette déclinaison est différente dans les différens endroits de la terre, mais qu'elle change avec le tems dans le même lieu.

Ainsi la déclinaison magnétique est beaucoup plus grande à Berlin qu'autrefois ; je me souviens très-bien encore qu'elle n'a été que de 10° ; & au siècle passé il y eut un tems, où elle fut nulle, desorte que la situation de l'aiguille aimantée convenoit alors exactement avec la ligne méridienne. C'étoit vers l'an 1670 ; dès-lors la déclinaison est devenue successivement plus grande vers l'ouest, jusqu'à 15° , comme elle est aujourd'hui ; & il est apparent, qu'elle ira toujours en diminuant, jusqu'à ce qu'elle revienne nulle une seconde fois. Ce n'est cependant qu'une conjecture, & nous sommes bien éloignés de pouvoir prédire quelque chose de certain là-dessus.

D'ailleurs nous savons certainement qu'avant 1670 la déclinaison étoit contraire, & di-

rigée vers l'orient ; & plus nous remontons , plus nous trouvons que la déclinaison étoit grande vers l'orient. Or nous ne saurions remonter plus haut qu'au tems où la boussole fut découverte , ce qui tombe dans le quatorzième siècle , mais c'est bien long-tems après cette découverte , qu'on a commencé à en observer la déclinaison à Berlin ; parcequ'on ne s'étoit pas apperçu d'abord , que l'aiguille s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres où l'on a été plus attentif sur cet article , on a observé la déclinaison magnétique l'an 1580 de 11° , $15'$, est. A. 1622 de 6° , $0'$, est. A. 1634 de 4° , $5'$, est. A. 1657 il n'y eut point de déclinaison ; mais en 1672 elle fut de 2° , $30'$, ouest. A. 1692 de 6° , $0'$, ouest ; & à présent elle pourroit bien être de 18 degrés ouest ou davantage. V. A. voit donc qu'au commencement du siècle passé elle étoit environ 8° vers l'est ; que dès-lors elle a successivement diminué , jusqu'à ce qu'elle est devenue insensible A. 1657 , & qu'après ce tems elle est devenue occidentale ou vers l'ouest , en augmentant jusqu'à présent.

Elle a presque tenu le même ordre à Paris , mais elle y fut nulle l'an 1666 , 9 ans plus tard qu'à Londres ; d'où V. A. peut observer une grande bizarrerie dans la diversité des déclinaisons , relativement aux divers lieux de la terre , dans le même tems & au même lieu pour des tems différens.

A présent , non-seulement par toute l'Euro-

pe , mais par toute l'Afrique & dans la plus grande partie de l'Asie , la déclinaison est occidentale , plus grande en quelques lieux , en d'autres plus petite que chez nous. Elle est plus grande dans certaines contrées en Europe , que chez nous ; savoir en Ecosse & en Norvège , où la déclinaison va bien au-delà de 20° , en Espagne , en Italie & en Grèce , au contraire , elle est plus petite & de 12° environ , sur les côtes occidentales de l'Afrique elle est d'environ 10° , & sur les orientales de 12° . Mais avançant dans l'Asie vers l'est , elle diminue successivement , & s'évanouit même au milieu de la Sibérie à Jeniseisk ; elle disparoît encore en Chine à Pekin , & au Japon , mais au-delà de ces endroits , plus à l'est , elle devient orientale ; & va en augmentant en ce sens par la partie boréale de la mer pacifique jusqu'aux côtes occidentales de l'Amérique , d'où elle va de nouveau en diminuant , jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse derechef en Canada , à la Floride , aux isles Antilles & vers les côtes du Brésil. Au-delà de ces contrées plus vers l'orient , c'est-à-dire , vers l'Europe & l'Afrique , elle redevient occidentale , comme je l'ai déjà remarqué.

Pour avoir une parfaite connoissance de l'état présent de la déclinaison magnétique , il faudroit être en état de marquer pour tous les lieux , tant sur terre que sur mer , de quelle grandeur est à présent la déclinaison magnétique , & si elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Cette connoissance seroit sans-doute très-estimable ,

mais elle n'est point à espérer ; il faudroit qu'il y eut à présent par-tout des hommes habiles qui, observant chacun dans son lieu la déclinaison magnétique, nous communiquassent leurs observations avec exactitude : cependant il faudroit attendre quelques années, jusqu'à ce que les plus éloignées nous parvinssent ; ainsi nous n'arriverions à cette connoissance qu'au bout de quelques années. Or quoiqu'en deux ou trois ans la déclinaison de l'aiguille aimantée ne change pas considérablement, ce changement quelque petit qu'il soit, empêcheroit pourtant que la connoissance de toutes ces observations faites dans les différentes contrées de la terre, nous éclaircit parfaitement sur l'état présent des différentes déclinaisons de l'aiguille aimantée.

Il en est de même des tems passés ; à chaque année répond un certain état de déclinaison magnétique qui lui est propre, & qui la distingue de tous les autres tems, passés & futurs. Il seroit cependant bien à souhaiter que nous eussions cet état bien détaillé pour une seule année ; nous ne manquerions pas d'en tirer des éclaircissements très-importans.

Feu Mr. *Halley*, célèbre astronome d'Angleterre, a tâché de nous le donner pour l'année 1700, fondé sur un grand nombre d'observations faites en plusieurs lieux, sur terre & sur mer ; mais outre que les contrées très-considérables où ces observations n'ont pas été faites, y sont omises, la plupart de celles qu'il a em-

ployé, ont été faites plusieurs années avant l'époque de 1700; desorte que jusques-là la déclinaison a pu souffrir des changemens assez considérables. Il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne sauroit être regardé que comme très-défectueux; d'ailleurs, à quoi nous serviroit-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui dès-lors a changé considérablement.

D'autres géographes Anglois ont donné depuis une carte semblable, où toutes les déclinaisons devroient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais comme elle a les mêmes défauts que celle de *Halley*; & que les observations leur manquoient aussi pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancé à remplir ces espaces vuides, en consultant la carte de *Halley*, qui n'avoit plus lieu certainement en 1744. V. A. jugera par-là, que notre connoissance sur cet article important de la physique, est encore extrêmement imparfaite.

le 13 Octobre 1761.

LETTRE CLXXII.

IL est bon d'expliquer aussi comment *Halley* s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques, dans la carte qu'il a dressée pour

l'année 1700, afin que si V. A. la voit, elle en comprenne la construction.

D'abord il a marqué à chaque endroit la déclinaison de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été observée, il a distingué parmi tous ces lieux, ceux où il n'y eut point de déclinaison, & il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne, qu'il nomme la ligne de nulle déclinaison, puisque par-tout sous cette ligne il n'y en avoit alors aucune. Cette ligne n'étoit ni un méridien ni un parallèle, mais elle traversoit par des tours très-obliques l'Amérique septentrionale, & en sortoit près les côtes de la Caroline; de-là elle se courboit pour traverser la mer atlantique entre l'Afrique & l'Amérique. Outre cette ligne il en découvrit encore une autre, où la déclinaison s'évanouissoit aussi; elle descendoit par le milieu de la Chine, & passoit de là par les isles Philippines & la nouvelle Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux lignes, qu'elles ont une communication près de l'un & l'autre pôle de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaison, Mr. *Halley* a remarqué que par-tout entre la première & la dernière, en passant de l'occident vers l'orient, c'est-à-dire, vers toute l'Europe, l'Afrique & presque toute l'Asie, la déclinaison étoit occidentale; & de l'autre côté au-delà de ces deux lignes, c'est-à-dire, dans toute la mer pacifique, elle étoit orientale. Ensuite, ayant fixé ces deux lignes

comme les principales, il alloit considérer tous les lieux où la déclinaison étoit de 5 degrés occidentale; d'où il voyoit qu'il pouvoit encore tirer commodément par tous ces lieux une ligne qu'il nomme la ligne de cinq degrés occidentale: il trouvoit aussi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnoit, pour ainsi dire, la première sans déclinaison, & l'autre la dernière. Il en fit de même des lieux où la déclinaison étoit de 10° ensuite de 15°, de 20°, &c. & il vit que les lignes de ces grandes déclinaisons, étoient bornées vers les poles, pendant que celles des petites déclinaisons traversoient toute la terre & passaient par l'équateur.

En effet, la déclinaison surpasse à peine 15° sous l'équateur tant vers l'ouest que vers l'est; mais en approchant des poles, on peut arriver à des lieux où la déclinaison surpasse 58° & 60°; il y en a sans-doute, où elle est encore plus grande, surpassant même 90° & plus, où le bout boréal de l'aiguille se tournera par conséquent vers le sud.

Enfin, après avoir tiré de semblables lignes par les lieux où la déclinaison étoit orientale de 5°. 10°. 15°, & ainsi de suite, Mr. *Halley* a en rempli toute la carte, qui représente la surface entière de la terre, sous chacune desquelles la déclinaison est par-tout la même, pourvu que les observations ne manquent pas. Aussi Mr. *Halley* a-t-il été assez scrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au-delà des lieux dont il avoit des observations: c'est pourquoi

la plus grande partie de la carte en est dépourvue.

Si l'on avoit une telle carte juste & complète, on y verroit d'un coup-d'œil, quelle déclinaison auroit régné à chaque endroit dans le tems pour lequel la carte auroit été dressée; & quoique le lieu proposé ne se trouveroit pas précisément sous une des lignes marquées, on estimeroit aisément en le comparant avec les deux lignes entre lesquelles il seroit situé, la déclinaison moyenne qui lui conviendrait. Si je me trouvois entre les lignes de 10° , & de 15° de déclinaison occidentale, je serois certain, que la déclinaison y seroit plus grande que 10° , & moindre que 15° , & selon que je serois plus proche de l'un ou de l'autre, je trouverois aisément le juste milieu qui m'indiqueroit la véritable déclinaison.

V. A. reconnoitra sans difficulté par-là, que si l'on avoit une telle carte exacte, elle nous serviroit à découvrir des longitudes, au moins pour le tems auquel elle conviendrait. Supposons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons cette carte dressée pour cette année, nous y verrions d'abord les deux lignes tracées par les endroits où la déclinaison est nulle, puis deux où elle seroit de cinq degrés, de 10° , de 15° , de 20° , tant occidentale qu'orientale: supposons même que pour plus grande exactitude, ces lignes soient tirées de degré en degré, & que je me trouve quelque part, en mer ou dans un pays inconnu, je tirerois

donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma bouffole s'en écarte, & je trouverois par exemple que la déclinaison est précisément de 10° , vers l'est; alors je prendrois ma carte, j'y chercherois les deux lignes sous lesquelles la déclinaison est de 10° , vers l'est, & je ferois sûr que je me trouve sous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclairciroit déjà beaucoup dans mon incertitude. Enfin j'observerois la hauteur du pôle, qui étant égale à la latitude du lieu où je me trouverois, il ne me resteroit plus qu'à marquer sur les deux lignes mentionnées, les points dont la latitude seroit la même que celle que je viens d'observer; & alors toute mon incertitude seroit réduite à deux points très-éloignés l'un de l'autre; or les circonstances de mon voyage décideroient aisément lequel de ces deux lieux est celui où je me trouve actuellement.

V. A. conviendra que si nous avions des cartes pareilles, cette méthode seroit la plus commode de toutes celles que j'ai exposées; mais c'est précisément ce qui nous manque; & comme nous sommes encore fort éloignés de pouvoir en dresser une pour le tems passé, qui ne nous serviroit à rien pour le tems présent, faute d'une quantité suffisante d'observations, nous sommes encore moins instruits de tous les changemens de déclinaison que chaque endroit éprouve par la suite du tems. Les observations faites jusqu'ici nous mon-

trent que quelques endroits sont assujettis à des changemens très-considerables, & que d'autres n'en souffrent presque point dans le même intervalle de tems, ce qui nous ôte toute espérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelque excellente qu'elle soit en elle-même.

le 17 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIII.

V. A. fera sans-doute curieuse d'apprendre pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, pourquoi cette direction est différente en différents lieux, & pourquoi dans le même endroit elle change avec le tems : je répondrai de mon mieux à ces questions importantes, craignant beaucoup de ne pas satisfaire à mon gré la curiosité de V. A.

Je remarque d'abord que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimans, & que ce n'est que leur figure propre à balancer sur un pivot & y tourner librement, qui la rend plus marquée. L'aimant suspendu par un fil, se tourne vers un certain côté, & lorsqu'on le met dans un petit vase, pour le faire nager sur l'eau, le vase portant l'aimant affectera toujours une cer-

certaine direction. Tout aimant armé de deux points, dont l'un affecte le nord & l'autre le sud, sera sujet aux mêmes variations que les éguilles.

Ces points sont très-sensibles dans chaque aimant, puisque c'est par où il attire le fer avec la plus grande force. On les nomme les *Poles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des poles de la terre ou du ciel, parce que l'un tâche de se diriger vers le pole boréal, & l'autre vers le pole austral ou méridional de la terre ; ce qui ne doit s'entendre qu'à-peu-près ; car lorsqu'on introduisit ces noms la déclinaison n'étoit pas encore connue. Celui des poles de l'aimant qui se dirige vers le nord, est nommé pole boréal & celui qui se dirige vers le sud pole méridional ou austral.

J'ai déjà remarqué qu'une aiguille aimantée, ainsi que l'aimant même, ne prend cette situation qui lui paroît naturelle, que lorsqu'elle se trouve hors du voisinage de quelqu'autre aimant ou du fer. Quand une aiguille aimantée se trouve proche d'un aimant, elle règle sa situation sur les poles de cet aimant ; enforte que le pole boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, & réciproquement le méridional de l'aimant le bout boréal de l'aiguille ; c'est pourquoi en rapportant deux aimants ensemble, on nomme poles amis ceux qui portent différens noms, & poles ennemis ceux du même nom ; cette propriété est très-remarquable lorsqu'on approche deux ai-

mants, car alors on verra non-seulement que les poles de différens noms s'attirent mutuellement, mais que les poles du même nom se fuient & se repoussent l'un l'autre. On le voit encore plus distinctement, lorsqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Il est fort important pour voir cela de bien considérer la situation qu'une aiguille aimantée prend dans le voisinage d'un aimant.

Dans la *fig. 4. Tab. II.* la barre *AB* représente un aimant, dont le pole boréal est en *B* & le pole méridional en *A*; *V. A.* voit plusieurs positions de l'aiguille aimantée sous la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b*, est le pole boréal, & *a*, le pole méridional. Dans toutes ces positions le bout *b* de l'aiguille s'approche du pole *A* de l'aimant, & le bout *a* du pole *B*. Le point *c* marque le pivot, sur lequel l'aiguille tourne, & *V. A.* n'a qu'à bien considérer la figure pour juger quelle situation prendra l'aiguille, en quelque lieu autour de l'aimant qu'on fixe le pivot *c*.

Si donc il y avoit quelque part un très-grand aimant *AB*, les aiguilles aimantées posées autour de lui, prendroient en chaque endroit une certaine situation, comme nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre: ou si la terre elle-même étoit cet aimant, on comprendroit pourquoi les aiguilles aimantées se disposent par-tout selon une certaine direction. Aussi les physiciens, pour expliquer ce phénomène, soutiennent que toute la

terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques - uns d'entr'eux prétendent qu'il se trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui exerce sa force sur toutes les aiguilles aimantées, & même sur tous les aimants qui se trouvent sur la surface de la terre, & que c'est cette force qui les dirige en chaque lieu selon les mêmes directions que nous y observons.

Mais nous n'avons pas besoin de recourir à un aimant caché dans les entrailles de la terre : sa surface est tellement remplie de mines de fer & d'aimants, que leur force réunie peut bien suppléer au défaut de ce grand aimant. En effet, on tire tous les aimans des mines, marque bien sûre que ces minéraux se trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre, & que toutes leurs forces réunies fournissent la force générale, qui produit tous les phénomènes magnétiques. Nous sommes aussi en état d'expliquer par-là, pourquoi la déclinaison magnétique change avec le tems dans le même endroit; car on fait que les mines de tous les métaux sont assujetties à des changemens continuels & particulièrement celles de fer, auxquelles se rapportent les aimants: Tantôt il s'engendre du fer dans un endroit, tantôt il s'y détruit; de sorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer, où il n'y en eut point autrefois; & où l'on en trouvoit autrefois en abondance, on ne trouve presque

plus rien aujourd'hui. Cela prouve suffisamment que la masse totale des aimants renfermés dans la terre, souffre des changemens très-considérables, d'où sans-doute les poles, sur lesquels se règle la déclinaison magnétique, changent aussi avec le tems.

C'est donc ici qu'il faut chercher pourquoi les déclinaisons magnétiques sont sujettes à des changemens si considérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raison, fondée sur l'inconstance de ce qui se passe dans ses entrailles, ne nous laisse aucune espérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaison magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changemens de la terre à quelque loi fixe. Une longue suite d'observations, continuée pendant plusieurs siècles, pourroit peut-être nous fournir des éclaircissemens là-dessus.

le 20 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIV.

CEUX qui prétendent que la terre renferme dans son sein un grand aimant, comme un noyau, sont obligés de dire, pour expliquer la déclinaison magnétique, que ce noyau change successivement de situation. Il faudroit alors qu'il fût détaché de la terre dans toutes

ses parties; & comme, sans-doute, son mouvement suivroit une certaine loi, nous pourrions espérer de la découvrir un jour. Mais soit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans la terre, soit que les aimans dispersés dans son sein réunissent leurs forces pour produire les phénomènes magnétiques, on peut toujours regarder la terre même comme un aimant, selon lequel se dirigent tous les aimants particuliers & toutes les aiguilles aimantées.

Quelques physiciens ont renfermé un aimant d'une très-grande force dans un globe, & ayant placé sur sa surface une aiguille aimantée, ils y ont observé des phénomènes semblables à ceux qui ont lieu sur la terre après avoir placé l'aimant dans le globe de plusieurs façons différentes. Or en considérant la terre comme un aimant, elle aura ses poles magnétiques, qu'il faut bien distinguer des poles naturels, autour desquels elle tourne : ces différens poles n'ont rien de commun entr'eux, que le nom, mais c'est de la position des poles magnétiques à l'égard des naturels, que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaison magnétique, & en particulier des lignes tracées sur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à V. A.

Pour mieux éclaircir cette matière, je remarque que si les poles magnétiques tomboient précisément dans les poles naturels, il n'y auroit point de déclinaison sur la terre; les aiguilles aimantées feroient précisément dirigées

par-tout du nord vers le sud , & leur position feroit précisément la même que celle de la ligne méridienne. Ce feroit fans-doute un très-grand avantage pour la navigation , puisqu'on connoîtroit alors exactement la route du vaisseau & la direction du vent : au lieu qu'à présent , on doit toujours chercher la déclinaison de la boussole , avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais la boussole n'apporteroit alors aucun secours pour la détermination des longitudes , but auquel la déclinaison pourroit bien conduire un jour.

On peut en conclure que si les poles magnétiques de la terre diféroient de beaucoup des poles naturels , & qu'ils fussent directement opposés l'un à l'autre , ce qui arriveroit si l'axe magnétique de la terre , (c'est la ligne droite tirée par les deux poles magnétiques) passoit par le centre de la terre , alors les aiguilles aimantées se dirigeroient par-tout vers ces poles magnétiques , & il feroit bien aisé d'assigner pour tous les lieux la direction magnétique. On n'auroit qu'à tirer , par chaque lieu , un cercle qui passât en même tems par les deux poles magnétiques , & l'angle que feroit ce cercle avec le méridien du même lieu , donneroit la déclinaison magnétique.

Dans ce cas les deux lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle , feroient des méridiens tirés par les poles magnétiques. Mais puisque nous avons vu qu'actuellement ces deux lignes sans déclinaison , ne sont point des méridiens ,

& qu'elles font un tour fort bizarre, on voit bien que ce cas n'a point lieu sur la terre. Halley a bien reconnu cette conséquence, & s'est cru obligé par-là de supposer un double aimant dans les entrailles de la terre, l'un fixe & l'autre mobile ; en conséquence il a établi quatre poles sur la terre, dont deux se trouvent près du pole boréal & les deux autres près du pole méridional, à distances inégales. Mais cette conclusion me paroît un peu hasardée : il ne s'ensuit pas de ce que les lignes sans déclinaison ne sont point des méridiens, qu'il y ait quatre poles magnétiques sur la terre : mais plutôt qu'il n'y en a que deux qui ne sont pas directement opposés l'un à l'autre, ou ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne passe point par le centre de la terre.

Il reste donc encore à considérer les cas où ces deux poles magnétiques ne sont pas directement opposés, & où l'axe magnétique ne traverse pas la terre par son centre ; car en embrassant l'hypothèse du noyau magnétique dans la terre, pourquoi l'un des poles magnétiques seroit-il précisément à l'opposé de l'autre ? Il se pourroit bien que ce noyau ne se trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fut à quelque distance du centre. Or dès que les poles magnétiques ne sont plus opposés diamétralement l'un à l'autre, les lignes, sous lesquelles la déclinaison est nulle, prennent effectivement un tour semblable à celui

qu'on a conclu par les observations ; il est même possible d'assigner aux deux poles magnétiques de telles places sur la terre, que non-seulement ces lignes feroient d'accord avec les observations, mais aussi pour tous les degrés de déclinaison, tant occidentale qu'orientale, on trouve précisément des lignes semblables à celles qui nous ont d'abord paru si bizarres.

Pour connoître l'état de la déclinaison magnétique, il ne s'agit donc que de fixer les deux poles magnétiques, & alors c'est un problème de géométrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, tirées pour tous les lieux où la déclinaison est la même. C'est par ce moyen encore qu'on feroit en état de rectifier ces lignes & de remplir des contrées, où les observations nous manquent ; & si l'on pouvoit pour tous les tems à venir, assigner les lieux des deux poles magnétiques sur la terre, ce seroit sans-doute la plus belle solution du problème des longitudes.

On n'a donc point besoin d'un double aimant dans la terre, ou des quatre poles magnétiques, pour expliquer les phénomènes de la déclinaison magnétique, comme le grand Halley l'a cru, mais d'un simple aimant ou des deux poles magnétiques, pourvû qu'on assigne à chacun sa juste place. Il me semble que, par cette réflexion, nous sommes beau-

coup plus avancés dans notre connoissance sur le magnétisme,

le 24 Octobre 1761.

L E T T R E C L X X V .

V. A. voudra bien se souvenir que lorsque nous frottames une aiguille sur un aimant, elle en acquit non-seulement la propriété de se diriger vers un certain point l'horizon, mais que son bout boréal descendit comme s'il fut devenu plus pesant, ce qui nous obligea d'en ôter quelque chose ou d'ajouter au bout opposé, pour remettre l'aiguille en équilibre. J'ai fait, en ne mettant point ce moyen en usage, plusieurs expériences pour m'assurer jusqu'où la force magnétique fait descendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, & j'ai trouvé qu'il baïssoit jusqu'à faire un angle de 72 degrés avec l'horizon, & qu'à cette situation, l'aiguille restoit en repos; il est bon de remarquer que j'ai fait ces expériences à Berlin, il y a environ six ans; car je ferai voir dans la suite que cette situation sous l'horizon est aussi variable que la déclinaison magnétique.

Nous voyons par-là que la force magnétique exerce un double effet sur les aiguilles; l'un dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon dont l'éloignement de la ligne mé-

ridienne est ce qu'on nomme la déclinaison magnétique, l'autre lui imprime une inclinaison vers l'horizon, en faisant baisser l'un ou l'autre bout au-dessous, jusqu'à un certain angle.

Soit *Tab. II. fig. 5.* de la ligne horizontale tirée selon la déclinaison magnétique, & l'aiguille prendra à Berlin la situation *ba* qui fait avec l'horizon *de* l'angle *dc b* ou *eca*, qui est 72° , & par conséquent avec la verticale *fg*, un angle *b c g*, ou *a c f* de 18 degrés. Ce second effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaison avec l'horizon, est aussi remarquable que le premier; & comme le premier est nommé la déclinaison magnétique, le second est connu sous le nom d'inclinaison magnétique, qui mériterait autant que la déclinaison, d'être observée par - tout, avec tous les soins possibles, puisqu'on y trouve une aussi grande variété.

L'inclinaison a été trouvée à Berlin de 72° , à Basle seulement de 70° , le bout boréal de l'aiguille étant baissé & l'autre par conséquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées comme plus proches du pôle magnétique boréal de la terre; & plus nous en approchons, plus l'inclinaison de l'aiguille devient grande, ou s'approche de la ligne verticale; de sorte que si nous pouvions arriver à ce pôle même, l'aiguille y prendrait effectivement la situation verticale, son bout boréal

étant tourné en bas & le méridional en haut. Plus au contraire on s'éloigne du pôle boréal magnétique de la terre, en s'approchant du méridional, plus l'inclinaison diminue; elle disparaîtra enfin, & l'aiguille prendra une situation horizontale, quand on se trouvera à des distances égales des deux pôles; mais en s'approchant davantage du pôle méridional de la terre, ce fera le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus-en-plus sous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-dessus, jusqu'à ce que, dans ce pôle même, l'aiguille devienne derechef verticale, tournant son bout méridional en bas & le boréal en haut.

Il feroit bien à souhaiter, qu'on fit partout des expériences aussi soigneuses pour déterminer l'inclinaison magnétique, qu'on l'a fait pour la déclinaison; mais on a trop négligé jusqu'ici cet important article de la physique expérimentale, qui n'est pas certainement moins curieux, ni moins intéressant, que celui de la déclinaison. Il n'en faut pas être surpris, cette espèce d'expérience est sujette à trop de difficultés, & presque toutes les manières qu'on a imaginées jusqu'ici pour observer l'inclinaison magnétique ont manqué de succès: il n'y a qu'un artiste de Basle nommé Diterich, qui ait réussi, après avoir construit une machine propre à ce dessein, suivant les vues du célèbre Mr. *Daniel Bernoulli*. Il m'avoit envoyé deux de ces machines, par le moyen desquelles j'ai observé ici cette in-

clinaison de 72 degrés, & quelque curieux que soient d'ailleurs les Anglois & les François sur ces sortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de Mr. *Diterich*, quoiqu'elle soit la seule propre à ce dessein. Cet exemple nous fait voir, combien les préjugés sont capables d'arrêter les progrès des sciences; & c'est ce qui est cause que Basle & Berlin sont les seuls endroits sur la terre où l'on connoisse l'inclinaison magnétique.

Les aiguilles faites pour les bouffoles ne sont pas absolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaison magnétique, quoiqu'elles en indiquent l'effet en gros, parceque le bout boréal devient plus pesant dans nos contrées; pour faire usage d'aiguilles destinées à nous découvrir la déclinaison, nous sommes obligés de détruire l'effet de l'inclinaison, en rendant le bout boréal plus léger ou le bout méridional plus pesant. Pour ramener l'aiguille dans la situation horizontale, on se sert ordinairement du dernier remède, & on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais V. A. comprend aisément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire est d'une certaine grandeur, & que si nous voyageons avec une telle aiguille vers le pôle boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire augmentera, & que pour empêcher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire sur le bout méridional. Mais si nous voyageons vers le midi, & que nous approchions de l'autre pôle de la

terre, où la force inclinatoire sur le bout boréal de l'aiguille diminue, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout, l'ôter ensuite tout-à-fait, parcequ'elle est inutile, si l'on parvient à des endroits où l'inclinaison magnétique s'évanouit. De-là si on approche davantage du pôle méridional le bout méridional de l'aiguille est poussé en-bas, de manière que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'est de ce moyen qu'on se sert dans les grands voyages, pour maintenir la boussole dans une situation horizontale.

Il faudroit avoir pour observer l'inclinaison magnétique des instrumens faits exprès, & semblables à celui que l'artiste de Basle a inventé; on nomme cet instrument *inclinatoire*, mais il n'y a pas apparence, qu'on en fasse si-tôt usage.* Encore moins pouvons nous espérer, qu'on fasse bientôt des cartes sur l'inclinaison magnétique, semblables à celles où l'on nous a représenté la déclinaison: on pourroit bien suivre la même méthode, & tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaison magnétique fera la même, desorte qu'on auroit des lignes sans inclinaison, ensuite d'autres lignes où l'inclinaison seroit de 5° , 10° , 15° , 20° , &c. tant vers le nord que vers le sud.

le 27 d'Octobre 1761.

* Depuis, à l'occasion du dernier passage de Vénus au-devant du disque du soleil, Mrs. Mallet & Pictet de Genève, appelés à observer ce passage en Laponie, ont fait usage de cet inclinatoire, & ont trouvé au mois de May de l'année 1769, l'inclinaison magnétique d'abord à St. Pétersbourg de 73° , $40'$; & ensuite en Laponie à Kola de 77° , $45'$; à Oumba de 75° , $10'$, & à Panoi de 76° , $30'$.

L E T T R E C L X X V I .

P OUR se former une juste idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard tant à la déclinaison qu'à l'inclinaison des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre; nous savons qu'à Berlin la déclinaison est de 15° , vers l'occident; & que l'inclinaison au bout boréal est de 72° . En considérant ce double effet, la déclinaison & l'inclinaison, on aura la véritable direction magnétique; ainsi pour savoir la véritable direction magnétique pour Berlin, on tirera d'abord sur un plan horizontal une ligne qui fasse avec la méridienne un angle de 15° , vers l'occident, & de-là, descendant vers la ligne verticale, on tracera une nouvelle ligne qui fasse un angle de 72° avec celle-là; & celle-ci nous montrera la direction magnétique pour Berlin, d'où V. A. comprend, comment on devroit assigner pour tout autre endroit la direction magnétique, pourvu qu'on en connût l'inclinaison & la déclinaison.

Chaque aimant nous découvre des phénomènes tout-à-fait semblables, on n'a qu'à le mettre sur une table couverte de limaille de fer, & l'on verra que la limaille se disposera autour de l'aimant B A, à-peu-près comme la *fig. 6. Tab. II.* le représente, où chaque parcelle de limaille peut être regardée comme une petite aiguille aimantée, qui nous fait voir en chaque point

autour de l'aimant , la direction magnétique. Cette expérience nous conduit à chercher la cause de tous ces phénomènes.

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer , ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matière subtile & invisible qui enfile les parcelles de la limaille , & qui les dispose dans la direction que nous voyons. Il est également clair que cette matière subtile traverse l'aimant même , entrant par l'un des pôles , & sortant par l'autre : de sorte qu'elle forme par son mouvement continuél autour de l'aimant , un tourbillon qui reconduit la matière subtile d'un pôle à l'autre , & ce mouvement est sans-doute extrêmement rapide.

La nature des aimans consiste donc dans un tourbillon continuél , ce qui les distingue de tous les autres corps ; & la terre elle-même , en qualité d'aimant , sera entourée d'un tourbillon pareil , qui agit par-tout sur les aiguilles aimantées , & fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction , qui est la même que j'ai nommée auparavant direction magnétique ; cette matière subtile sort donc continuellement par l'un des pôles magnétiques de la terre , & après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pôle , elle y rentre & la traverse dans toute son épaisseur , jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pôle.

On ne sauroit décider encore par lequel des deux pôles magnétiques de la terre , elle entre ou sort ; les phénomènes qui en dépendent ,

se ressembler si parfaitement, qu'on ne sauroit les distinguer. C'est sans-doute aussi ce tourbillon général de la terre qui fournit la matière subtile à tous les aimants partiels & au fer soit acier aimanté, & qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matière subtile & son mouvement, il faut remarquer qu'elle n'agit que sur les aimants, le fer & l'acier; tous autres corps lui sont absolument indifférens; il faut donc qu'elle se trouve dans une autre relation à leur égard qu'à celui des autres. Plusieurs expériences nous obligent à soutenir que cette matière subtile traverse librement tous les autres corps & même en tous sens: car, quand un aimant agit sur une aiguille, l'action est parfaitement la même, qu'on mette quelques corps entr'eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne soit pas du fer, & son action est la même sur la limaille de fer. Il faut donc que cette matière subtile traverse tous les corps, excepté le fer, aussi librement que l'air, & même le pur éther, puisque ces expériences réussissent également dans un espace vidé d'air par la machine pneumatique. Cette matière subtile est par conséquent différente de l'éther, & même beaucoup plus subtile. Et, à cause du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle environne toute la terre, traversant librement toute la masse, comme les autres corps, à l'exception du fer & des aimants:

aimants : & c'est pour cela qu'on pourroit nommer le fer & l'acier des corps magnétiques, pour les distinguer des autres.

Mais si la matière magnétique passe librement à travers de tout corps non-magnétique, quel rapport auroit-elle avec ceux qui le sont ? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des poles de chaque aimant, & sort par l'autre, d'où l'on pourroit conclurre qu'il traverse aussi librement les aimants ; ce qui ne le distingueroit pas des autres. Mais quand la matière magnétique ne traverse les aimants que d'un pôle à l'autre, c'est une circonstance bien différente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère distinctif. Les corps non magnétiques sont traversés librement par la matière magnétique en tout sens : les aimants n'en sont traversés que dans un seul sens, l'un des poles étant destiné à l'entrée & l'autre à la sortie. Mais le fer & l'acier, aimantés, n'en sont traversés que dans un seul sens, selon la nature des poles magnétiques, & quand ces corps ne sont pas encore aimantés, on peut dire qu'ils n'accordent point un passage libre à la matière magnétique dans aucun sens.

Cela paroît étrange, puisque le fer a des pores ouverts, qui transmettent l'éther même, qui n'est pourtant pas si subtil que la matière magnétique. Mais il faut bien distinguer un passage simple, d'un autre où la matière magné-

Tom. III. G.

tique puisse traverser le corps avec toute la rapidité sans rencontrer aucun obstacle.

le 31 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXXVII.

IL s'en faut bien, que je prétende expliquer parfaitement les phénomènes du magnétisme ; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans ceux de l'électricité. La cause en est, sans doute, que l'électricité consiste dans un trop grand ou trop petit degré de compression d'un fluide subtil qui occupe les pores des corps, sans que ce fluide subtil, qui est l'éther, se trouve dans un mouvement actuel ; mais le magnétisme ne sauroit être expliqué, sans supposer un tourbillon rapidement agité, qui pénètre les corps magnétiques.

La matière qui constitue ces tourbillons est aussi beaucoup plus subtile que l'éther, & traverse librement les pores des aimants qui sont impénétrables à l'éther même. Or cette matière magnétique est répandue & mêlée dans l'éther comme l'éther avec l'air grossier, ou ainsi qu'il occupe & remplit les pores de l'air ; on peut dire, que la matière magnétique est renfermée dans les pores même de l'éther.

Je conçois donc que l'aimant & le fer ont des pores si petits, que l'éther tout entier n'y sauroit

entrer & qu'il n'y a que la matière magnétique qui puisse les pénétrer, & qui, en y entrant, se sépare de l'éther, desorte qu'il s'y fait, pour ainsi dire, une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matière magnétique se trouve toute pure; par-tout ailleurs elle est mêlée & dispersée par l'éther, comme l'éther lui-même l'est par la masse de l'air.

V. A. imaginera aisément plusieurs fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, & qui sont parfaitement mêlés ensemble. La nature nous en offre des exemples précis. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air, que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; il n'y a plus de doute encore que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, & qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme dans l'électricité. Nous voyons à présent que cette progression va plus loin, & que l'éther contient encore une matière beaucoup plus subtile; c'est la matière magnétique, qui peut-être en renferme d'autres encore plus subtiles, cela n'est du moins pas impossible.

Après avoir établi cette matière magnétique, voyons comment elle produit ses phénomènes. Je considère d'abord un aimant, & je dis, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, il en contient encore de beaucoup plus étroits, où la matière magnétique seule peut entrer. En

second lieu, que ces pores sont disposés de manière à avoir une communication entr'eux, & constituent des tuyaux ou canaux, par lesquels elle passe d'un bout à l'autre. Enfin, que cette matière ne fauroit passer par ces tuyaux que dans un sens, sans pouvoir retourner dans le sens contraire: cette circonstance, très-essentielle, demande un plus grand éclaircissement.

Je remarque donc d'abord, que les veines & les vaisseaux lymphatiques dans les corps des animaux, sont des tuyaux d'une construction semblable, qui renferment des soupapes, représentées dans la *fig. 7. Tab. II.* par les traits *mn*, dont la fonction est, que tant que le sang coule de A vers B, elles se lèvent & lui accordent un libre passage, mais qui l'empêchent de refluer de B vers A.

Car si le sang vouloit couler de B vers A, il pousseroit le bout libre de la soupape *m* vers le côté *o* de la veine & la soupape fermeroit le passage entièrement; on se sert ainsi de soupapes dans les conduits d'eau, pour empêcher qu'elle ne puisse retourner. Je crois donc de ne rien supposer qui soit contraire à la nature, quand je dis que les canaux, dans les aimants, qui n'admettent que la matière magnétique, sont de la même construction.

La *fig. 8. Tab. II.* représente ce canal magnétique, comme je l'imagine. Je le conçois garni en-dedans de poils dirigés de A vers B, qui n'opposent aucun obstacle à la matière magné-

tique, quand elle passe de A vers B, puisqu'alors ils s'ouvrent d'eux-mêmes en n , pour laisser passer la matière en o ; mais ils fermeroient d'abord le passage, si elle vouloit rétrograder de B vers A. La nature des canaux magnétiques consiste donc à ne permettre d'entrée à la matière magnétique qu'au bout A, pour couler vers B, sans aucun empêchement, sans qu'il soit possible qu'elle les traverse en sens contraire de B vers A.

Cette construction nous met en état d'expliquer comment la matière magnétique entre dans ces tuyaux, & les traverse avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier est dans un repos parfait, ce qui est le plus surprenant: car qui peut produire un mouvement si rapide? C'est ce qui paroîtra très-clair à V. A., si elle veut bien se souvenir que l'éther est une matière extrêmement élastique; ainsi la matière magnétique, qui est dispersée, en sera pressée de toutes parts. Que le canal magnétique AB soit encore tout-à-fait vuide, & qu'il se trouve à l'entrée A une molécule de matière magnétique m , qui soit pressée de toute part où elle touche le canal, où l'éther ne fau- roit entrer, elle y sera poussée avec la plus grande force; elle y entrera donc avec la même rapidité; bientôt une autre molécule de matière magnétique, dont l'éther est copieusement chargé, s'y présentera encore & y sera poussée avec la même force; & ainsi des molécules suivantes; il en résultera donc un flux conti-

nuel de matière magnétique qui, ne rencontrant aucun obstacle dans ce canal, fortiroit en B avec la même rapidité qu'il entre en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de ces canaux que je nomme magnétiques, & il s'enfuit très-naturellement, que la matière magnétique dispersée par l'éther, doit y entrer par un bout & sortir par l'autre avec impétuosité ; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matière magnétique par les canaux de l'aimant : j'espère avoir surmonté par-là les plus grands obstacles qui puissent se rencontrer dans la théorie du magnétisme.

le 3 Novembre 1761.

LETTRE CLXXVIII.

V. A. a vu en quoi consiste le caractère distinctif des aimants, & que chaque aimant est pourvu de plusieurs canaux dont je viens de donner la description.

La *fig. 1. Tab. III.* représente un aimant AB avec trois canaux magnétiques *ab*, par lesquels la matière magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en entrant par les bouts *a*, & sortant par ceux *b* : elle en sortiroit bien avec la même rapidité, mais rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air grossier, de grands obstacles s'opposeroient à la continuation de son

mouvement selon sa direction , & non - seulement son mouvement fera ralenti , mais sa direction détournée vers les côtés *cc*. Il en fera de même à l'entrée , vers les bouts *aaa* , à cause de la rapidité avec laquelle les molécules de matière magnétique y entrent , le tour viendra bientôt à celles qui sont encore vers les côtés *ee* , qui à leur tour seront remplacées par celles qui , sorties des bouts *bbb* , ont été déjà détournées vers *cc* , en sorte que bientôt , la même matière magnétique sortie par les bouts *bbb* retourne vers ceux *aaa* en faisant le tour *bcdea* ; & ce mouvement autour de l'aimant , fera ce que nous nommons *tourbillon magnétique*.

Il ne faut pourtant pas s'imaginer que ce soit toujours la même matière magnétique , qui forme ces tourbillons ; une bonne partie s'en échappera sans-doute , tant vers B que vers les côtés , en faisant le tour ; mais , en récompense , il entrera par les bouts *aaa* de nouvelle matière magnétique , de sorte que la matière qui constitue le tourbillon , est compensée & bien variable ; il se conservera cependant toujours un tourbillon magnétique , dont l'aimant sera entouré , & qui produit les phénomènes observés ci-dessus dans la limaille de fer , qu'on jette autour de l'aimant.

V. A. voudra bien faire attention que le mouvement de la matière magnétique dans le tourbillon , est incomparablement plus lent hors de l'aimant , que dans les tuyaux magnétiques où

elle est séparée de l'éther, après y avoir été poussée par toute la force élastique de ce dernier; & qu'en sortant, elle s'y mêle de nouveau, & doit y perdre la plus grande partie de son mouvement, ce qui fait que sa vitesse pour rentrer par les bouts *a a a* est incomparablement moindre que dans les canaux magnétiques *ab*; quoique très-grande encore à notre égard. V. A. comprendra donc aisément, que les bouts des canaux magnétiques, par lesquels la matière entre & sort de l'aimant, sont ce que nous nommons ses poles, & que les poles magnétiques d'un aimant ne sont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les bouts des canaux magnétiques aboutissent, étant un pole magnétique, comme dans l'aimant représenté *fig. 6. Tab. II.* où toutes les surfaces *A* & *B* sont les deux poles.

Or comme ces poles sont distingués en boréal & méridional, on ne sauroit dire si c'est par le boréal ou le méridional, que la matière magnétique entre dans les aimants. V. A. verra dans la suite, que tout phénomène produit par l'entrée & la sortie, se ressemble si parfaitement, qu'il paroît impossible de décider cette question par les expériences. Il fera donc indifférent de supposer, que la matière magnétique entre ou sorte par le pole boréal, ou par le méridional.

Quoiqu'il en soit, je désignerai par la lettre *A*, le pole où la matière magnétique entre, & par *B*, celui où elle sort, sans me soucier le-

quel est boréal ou méridional. Je passe à ces tourbillons, pour juger comment deux aimants agissent l'un sur l'autre.

Supposons, *Tab. III. fig. 2.* que deux aimants AB & ab se regardent par les poles de même nom A , a , & leurs tourbillons seront tout-à-fait contraires entr'eux. La matière magnétique qui est en C entrera par A & par a , & ces deux tourbillons tâchant de se détruire l'un l'autre, la matière qui avance par E pour rentrer en A rencontrera en D celle de l'autre aimant, qui revient par e pour rentrer en a ; il devra naître un choc entre les deux tourbillons où l'un repoussera l'autre; & cet effet réjaillit sur les aimants mêmes, qui, dans cette situation, se repoussent l'un l'autre. La même chose arriveroit si les deux aimants se regardoient par les autres poles B & b ; c'est pourquoi on nomme les poles du même nom *ennemis*, parcequ'ils se repoussent actuellement.

Mais s'ils se regardent par les poles de différent nom, il s'ensuivra un effet contraire & *V. A.* voit déjà, qu'ils doivent s'attirer.

Dans la *fig. 3. Tab. III.* où les deux aimants se regardent par les poles B & a , la matière magnétique qui sort par le pole B , trouvant d'abord la commodité d'entrer dans l'autre aimant par son pole a , ne se détournera point vers les côtés pour rentrer en A , mais passera directement par C dans l'autre aimant, pour en sortir en b , & faire le tour par les côtés $d d$ pour retourner, non pas au pole c , mais à ce-

lui A de l'autre aimant, en faisant le tour par *e* & *f*. Ainsi les tourbillons de ces deux aimants se réuniront en un seul, comme s'il n'y avoit qu'un aimant; & ce tourbillon étant comprimé de toutes parts par l'éther, poussera les deux aimants l'un vers l'autre, tellement qu'ils paroîtront s'attirer mutuellement.

Voilà pourquoi les poles de différens noms sont appelés *amis*, & ceux du même nom *ennemis*, phénomène principal des aimants, en ce que les poles de différens noms s'attirent & ceux du même nom se repoussent.

le 7 Novembre 1761.

LETTRE CLXXIX.

APRES avoir établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matière magnétique peut traverser dans un seul sens, parceque les soupapes, dont ces canaux sont parsemés, empêchent le retour en sens contraire, V. A. ne doutera point qu'ils sont la continuation de ces pores *fig. 8. Tab. II.* dont les poils *n* sont dirigés en même sens, desorte que plusieurs semblables particules étant jointes ensemble & dirigées en même sens constituent un canal magnétique. Il ne suffit donc pas que la matière de l'aimant renferme plusieurs particules semblables, il faut encore qu'elles soient disposées

enforte qu'il en résulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matière magnétique puisse les traverser.

Il y a donc apparence que le fer & l'acier contiennent de ces particules en grande abondance, qui ne sont pas disposées comme je viens de les décrire, mais dispersées par toute la masse, & qu'il n'y manque que cette disposition pour être de vrais aimants. Ils conservent bien alors toutes leurs autres qualités, & ne se distinguent des autres morceaux de fer & d'acier, que parcequ'ils ont de plus les propriétés de l'aimant; une aiguille & un couteau, avec ou sans vertu magnétique, rendent les mêmes services. Le changement qui se fait dans l'intérieur en rangeant les particules dans l'ordre qu'exige le magnétisme, ne sauroit être remarqué par dehors, & le fer soit acier qui a acquis la force magnétique, est nommé aimant artificiel, pour le distinguer de l'aimant naturel, qui ressemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques soient les mêmes dans les uns & dans les autres. V. A. fera sans-doute curieuse d'apprendre de quelle manière le fer & l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, & devenir des aimants artificiels? Rien n'est si simple, & le voisinage d'un aimant est capable de rendre le fer un peu magnétique; c'est le tourbillon magnétique qui produit cet effet, sans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paroisse le fer, les

particules qui renferment les pores magnétiques représentés ci-dessus, sont très-mobiles dans la substance & la moindre force suffit pour changer leur situation. La matière magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, disposera donc aisément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre, suivant sa direction, au moins ceux dont la situation n'est pas fort différente; & les ayant traversés, elle agira de la même manière sur les pores suivans: jusqu'à ce qu'elle se soit pratiqué un passage au travers du fer, & formé par-là quelques canaux magnétiques. La figure du fer contribue beaucoup à faciliter ce changement; une figure allongée & placée selon la direction du tourbillon, y est la plus propre, puisque la matière magnétique en passant par toute la longueur, y dispose beaucoup de particules dans leur juste situation, pour former des canaux magnétiques plus longs, & il est sûr, que plus il y aura de quoi former des canaux, plus ils seront longs; sans interruption, & plus le mouvement de la matière magnétique sera fort, & la force magnétique plus grande.

On a remarqué aussi que, lorsqu'on secoue fortement, qu'on frappe le fer posé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut degré de magnétisme, parce que les moindres particules sont ébranlées & déliées par ces secousses, pour se prêter plus facilement à l'action de la matière magnétique qui les pénètre.

Ainsi posant *Tab. III. fig. 4.* une petite barre

de fer *ab* dans le tourbillon de l'aimant *AB*, enforte que sa direction *ab* convienne à-peu-près avec celle du courant *def* de la matière magnétique, elle traversera aisément la barre & y formera des canaux magnétiques, sur-tout quand on secoue ou frappe cette barre en même tems, pour faciliter le passage. On voit aussi que la matière magnétique qui entre par le pôle *A* & sort par le pôle *B* de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a* & sortira par le bout *b*, desorte que le bout *a* deviendra le pôle du même nom *A*, & *b* de celui *B*. Otant puis cette barre *ab* du tourbillon magnétique, elle fera un aimant artificiel, quoique bien foible, qui fournira son propre tourbillon & conservera sa force tant que les canaux magnétiques n'y seront point interrompus. Ce qui arrivera d'autant plus aisément que les pores du fer sont mobiles; ainsi la même circonstance qui aide à produire le magnétisme, sert aussi à le détruire. Un aimant naturel n'est pas autant sujet à l'affoiblissement, parceque ses pores sont beaucoup plus fermes, & qu'il faut des efforts plus considérables pour les déranger; j'en parlerai plus en détail dans la suite.

Je me propose d'expliquer ici la manière la plus naturelle de rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert soit très-petite, cela nous servira à comprendre ce phénomène remarquable & assez universel. On a observé que les pincettes de cheminée & autres meubles de fer qu'on tient ordinairement dans

une situation verticale, ainsi que les barres de fer qu'on met sur les clochers, acquièrent avec le tems une force magnétique assez sensible; aussi s'est-on apperçu qu'une barre de fer battue dans une situation verticale, ou rougie au feu, étant trempée dans l'eau froide dans la même situation, devient un peu magnétique, sans l'approche d'aucun aimant.

Pour avoir la raison de ce phénomène V. A. n'a qu'à se souvenir que la terre est elle-même un aimant, & conséquemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaison & l'inclinaison de l'aiguille aimantée montre partout la véritable direction; si donc une barre de fer se trouve long-tems dans cette situation, nous n'avons pas lieu d'être surpris qu'elle devienne magnétique. Nous avons vu aussi, que l'inclinaison de l'aiguille aimantée est à Berlin de 72 degrés & comme dans presque toute l'Europe, elle est à-peu-près la même; cette inclinaison ne difère que de 18° de la situation verticale; ainsi la situation verticale ne difère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique: une barre de fer qu'on a tenu long-tems dans cette situation, fera enfin pénétrée par le tourbillon magnétique, & doit acquérir par conséquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaison est insensible, ce qui arrive près de l'équateur, ce n'est plus la même direction qui rend les barres de fer magnétiques, mais plutôt l'horizontale, enforte que leur direction convienne avec

la déclinaison magnétique, si l'on veut qu'elles acquièrent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer, l'acier est trop dur pour cela, il faut employer des moyens plus efficaces pour le rendre magnétique.

le 10 Novembre 1761.

LE T T R E CLXXX.

QUOIQUE la terre entière puisse être considérée comme un grand aimant, & qu'elle soit environnée d'un tourbillon magnétique, qui dirige par-tout les aiguilles aimantées, sa force magnétique est pourtant très-foible & beaucoup moindre que celle d'un aimant très-médiocre, ce qui paroît fort étrange à cause de l'énorme grandeur de la terre.

C'est, sans-doute, parceque nous sommes très-éloignés des véritables poles magnétiques de la terre, qui, selon toute apparence, sont ensevelis bien profondément: or, quelque fort que soit un aimant, ce n'est que très-près de lui que sa force est considérable; & plus on s'en éloigne, plus elle devient petite & s'évanouit enfin. C'est pourquoi la force magnétique qu'acquièrent avec le tems des masses de fer situées convenablement dans le tourbillon de la terre, n'est que très-petite; & à peine sensible, à moins que le fer ne soit très-mol &

qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A.

Cet effet est beaucoup plus considérable près d'un aimant médiocre: de petites masses de fer y acquièrent bien vite une force magnétique très-sensible, aussi sont-elles attirées vers l'aimant, au lieu que cet effet est imperceptible dans le tourbillon de la terre, & ne consiste qu'à diriger les aiguilles aimantées, sans les attirer, ni augmenter leur poids.

Une masse de fer *Tab. III. fig. 5.* plongée dans le tourbillon d'un aimant, nous offre aussi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particulière; non-seulement cette masse est d'abord attirée vers l'aimant, mais elle attire elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB un aimant naturel, dans le voisinage duquel près du pôle B, on place la masse de fer CD, & l'on verra, qu'elle est capable de soutenir une barre de fer EF. Qu'on y applique en F une règle de fer GH, dans une situation quelconque, par exemple horizontale, en la soutenant en H, & l'on s'apercevra qu'elle n'est pas seulement attirée par la barre en F mais qu'elle est encore capable de supporter en H des aiguilles comme IA, & que ces aiguilles agissent aussi sur de la limaille de fer L, en l'attirant.

On peut propager ainsi la force magnétique à des distances très-considérables, & même la faire changer de direction, par la diverse position

tion de ces pièces de fer, quoiqu'elle diminue de plus-en-plus. V. A. sent bien, que plus l'aimant AB est fort par lui-même & plus la première masse CD en est près, plus aussi l'effet est considérable. Feu Mr. de Maupertuis avoit un gros aimant si excellent, qu'à la distance de plusieurs pieds, la masse de fer CD exerçoit encore une force très-considérable.

Pour expliquer ces phénomènes, V. A. n'a qu'à considérer que la matière magnétique qui sort rapidement par le pôle B de l'aimant, entre dans la masse de fer & en dispose les pores à former des canaux magnétiques, qu'elle traverse ensuite librement. De même, en entrant dans la barre, elle se formera des canaux magnétiques & ainsi de suite. Et puisque la matière magnétique en sortant d'un corps entre dans un autre, ces deux corps doivent s'attirer mutuellement, par la même raison que j'ai prouvé que deux aimants qui se regardent par leurs pôles amis doivent s'attirer; & toutes les fois que nous voyons que deux fers s'attirent, nous pouvons conclure sûrement que la matière magnétique qui sort de l'un, entre dans l'autre, par le mouvement continuuel avec lequel elle s'introduit dans ces corps. C'est ainsi que, dans la disposition mentionnée des pièces de fer, la matière magnétique les enfile toutes par son mouvement, seule raison de leur attraction mutuelle.

Les mêmes phénomènes arrivent encore, lorsqu'on tourne vers la masse de fer, l'autre

pole A de l'aimant, où entre la matière magnétique : le mouvement devient alors rétrograde, & conserve la même route ; car la matière magnétique contenue dans la masse de fer, s'en échappera alors pour se précipiter dans l'aimant, & fera en s'échappant les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, que si elle entroit avec rapidité dans le fer. Il faut donc pour cela que le fer soit assez mol, & que ses pores fléchissent aisément, pour obéir aux efforts de la matière magnétique. Une difficulté que V. A. trouvera sans-doute, consiste à expliquer pourquoi la matière magnétique, en entrant dans une autre pièce de fer, change de direction & se règle suivant la longueur des pièces, comme j'ai représenté son cours dans la figure ? C'est un article fort important dans la théorie du magnétisme, & qui nous fait voir combien la figure des pièces de fer contribue à la production des phénomènes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonstance, il faut se souvenir que notre matière subtile se meut très-aisément dans les pores magnétiques où elle est séparée de l'éther, & qu'elle rencontre des obstacles très-considérables, lorsqu'elle s'échappe des pores magnétiques avec toute sa vitesse pour rentrer dans l'éther & dans l'air.

Supposons *Tab. III. fig. 6.* que la matière magnétique, après avoir traversé la barre de fer CD entre dans la règle de fer EF posée perpendiculairement. Elle conserveroit bien en entrant

la même direction pour fortir en *m*, si elle ne trouvoit pas une route plus aisée pour continuer son mouvement : mais rencontrant en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers *F*, où trouvant des pores propres à la continuation de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa première direction, pour traverser la règle *EF* dans toute sa longueur ; & comme si la matière magnétique évitoit de fortir du fer, elle tâche d'y continuer son mouvement tant qu'elle peut, en profitant de la longueur de la règle ; mais elle fortiroit sans-doute en *m*, si la règle étoit très-courte. Or la longueur de la règle lui offrant un espace à parcourir, elle suit la direction *EF*, jusqu'à ce qu'elle soit obligée de s'échapper en *F*, où tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent plus que la matière subtile près de *F*, puisse encore changer de direction & retourner le long de la règle ; ces canaux étant non-seulement remplis de la matière qui traverse, mais incapables par leur nature, de recevoir du mouvement en sens contraire.

le 14 Novembre 1761.

L E T T R E . C L X X X I .

V. A. vient de voir comment le fer peut recevoir le courant magnétique d'un aimant, le conduire à des distances assez considérables, & même en changer la direction. Joindre un aimant à des pièces de fer, est donc à-peu-près la même chose que l'agrandir, puisque le fer acquiert la même nature à l'égard de la matière magnétique; & comme on peut encore par ce moyen changer la direction du courant magnétique, puisque les poles sont les endroits où la matière magnétique entre & sort de l'aimant, on est maître de transporter les poles où l'on veut.

C'est sur ce principe qu'est fondée l'armature des aimants, qui mérite bien que j'en donne une idée à V. A. puisque les aimants sont portés par-là à un plus haut degré de force.

On donne ordinairement aux aimants, en les tirant des mines, *Tab. III. fig. 7.* la figure d'un parallélépipède ou d'un parallélogramme rectangle avec une épaisseur comme A A B B, dont la face A A soit le pôle où la matière magnétique entre, & B B celui où elle sort. Il est donc rempli selon la longueur A B des canaux magnétiques *a b*, que la matière magnétique traverse librement sans mélange d'aucun éther, avec la plus grande rapidité,

poussée par la force élastique de l'éther. Voyons maintenant de quelle manière on est accoutumé d'armer un aimant pareil.

On applique à chaque face A A & B B *Tab. III. fig. 8.* où se trouvent les deux poles de l'aimant, des plaques de fer *aa* & *bb* terminées en bas en boutons *U* & *V*; qu'on nomme les pieds; c'est ce qu'on appelle l'armature de l'aimant, & on dit alors qu'il est armé. Dans cet état, la matière magnétique, qui seroit échappée par la face B B entre dans la plaque de fer *bb*, où la difficulté de s'échapper suivant sa direction dans l'air, l'oblige de changer de direction & de couler le long de la plaque *bb* dans le pied *V*, où elle est bien obligée de sortir, ne trouvant plus de fer pour continuer son mouvement. Il en est de même de l'autre côté, la matière subtile y sera conduite par le pied *U*, d'où elle passera par la plaque *aa* en changeant de direction pour entrer dans l'aimant & y parcourir les canaux magnétiques. Car la matière subtile contenue dans la plaque entre d'abord dans l'aimant; elle est suivie par celle qui se trouve dans le pied *U*, remplacée à son tour par celle dedehors, qui y étant poussée par l'élasticité de l'éther, pénètre le pied *U* & la plaque *aa* avec une rapidité, dont la véhémence est capable d'y arranger les poles, & de former des canaux magnétiques.

L'on voit par-là que le mouvement doit être le même des deux côtés, avec cette difé-

rence, que la matière magnétique entrera par le pied *A* & sortira par le pied *B*, desorte que c'est dans ces pieds que se trouvent les poles de l'aimant armé; & comme les poles répandus auparavant par les faces *AA* & *BB* sont à présent réunis dans les bases des pieds *A* & *B*, il est très-naturel que la force magnétique doit être considérablement plus grande dans ces nouveaux poles.

Aussi, dans cet état, le tourbillon magnétique se formera-t-il plus aisément: la matière magnétique qui sort par le pied *B* retournera facilement dans le pied *A*, en passant par *C* & le reste du corps de l'aimant ne sera plus entouré d'aucun tourbillon, si quelque peu de matière magnétique n'échappe pas par la plaque *bb*, pour n'avoir pu changer si subitement: & s'il n'en entre quelque peu par la plaque *aa*, d'où naîtroit un foible tourbillon, qui conduiroit la matière subtile immédiatement par la plaque *bb* en *aa*; cependant si l'armature est bien faite, ce second tourbillon est presque insensible, & par conséquent le courant entre les pieds est d'autant plus fort.

La règle principale pour bien armer les aimants, est de bien polir tant les deux faces *AA* & *BB* de l'aimant que les plaques de fer, desorte qu'en les appliquant, elles touchent parfaitement l'aimant par-tout; la matière subtile passant aisément de l'aimant dans le fer, quand il n'y a point d'autre matière entre eux; mais s'il y avoit un vuide ou de l'air entre

l'aimant & les plaques, la matière magnétique perdrait presque tout son mouvement, son cours seroit interrompu, & ne suffiroit plus pour se frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Le fer le plus mol & le plus doux est à préférer pour ces armatures, parceque ses pores se plient & se rangent fort aisément selon le courant de la matière magnétique; aussi ce fer paroît-il très-propre à faire changer subitement la direction du courant; il semble même que la matière magnétique affecte d'y poursuivre sa route aussi longtems qu'il est possible, & n'en sort, que lorsqu'elle ne peut plus y continuer son mouvement: elle aime mieux faire de grands tours que de le quitter. Ce qui n'arrive pas dans l'aimant même, où les canaux magnétiques sont déjà formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéissent pas si aisément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois ces canaux sont formés dans l'acier, ils se maintiennent plus longtems, & conservent leur force magnétique; tandis que le fer doux, quelque force qu'il ait exercé dans sa jonction avec un aimant, la perd presque tout-à-fait, dès qu'on l'en sépare.

Il faut consulter l'expérience pour les autres circonstances de l'armature; on trouve quant aux plaques, que trop ou trop peu d'épaisseur sont nuisibles; mais d'ordinaire, les plaques les plus convenables sont très-minces, ce qui

paroîtroit fort étrange, si nous ne savions pas que la matière magnétique est beaucoup plus subtile que l'éther, & que, par conséquent, la plaque la plus mince est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

le 17 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXII.

C'EST donc aux pieds de son armature, qu'un aimant exerce sa plus grande force, puisque ses poles y sont réunis; & chaque pied est capable de supporter un poids de fer, d'autant plus grand, que l'aimant est bon & excellent.

Ainsi *Tab. III. fig. 9.* un aimant A A B B armé de plaques de fer *a a* & *b b* terminées par les pieds *U* & *B*, portera non-seulement par le pied *U* la règle de fer *CD*, mais celle-ci en portera une autre plus petite *GH*, qui portera à son tour encore une aiguille *IK*, qui enfin attirera de la limaille de fer *L*; parceque la matière magnétique enfile toutes ces pièces pour entrer dans le pole *U*; ou si c'étoit l'autre pole, par lequel la matière magnétique sort de l'aimant, elle enfileroit de la même manière les pièces *CD*, *EF*, *GH*, *IK*; or toutes les fois que la matière, en sortant d'une pièce de fer, entre dans une autre, on

observe une attraction entre les deux pièces, ou plutôt elles sont poussées l'une à l'autre par l'éther environnant, parce que le courant de la matière magnétique entr'elles, diminue la pression de l'éther.

Quand on charge ainsi l'un des poles de l'aimant, son tourbillon souffre un changement de direction très-essentiel; car comme, sans cette charge, la matière magnétique qui sort du pole *B* en détournant son cours coule vers l'autre pole *A*, maintenant l'entrée dans ce pole étant suffisamment fournie par les pièces soutenues, il faut bien que la matière qui sort du pole *B* prenne un tout autre chemin qui la conduise enfin à la dernière pièce *IK*. Une portion en fera sans-doute aussi portée vers la pénultième *GH* & vers les précédentes, puisque les suivantes comme plus petites ne fournissent pas suffisamment aux précédentes, mais toujours le tourbillon s'étendra jusqu'à la dernière. Par ce moyen, en proportionnant bien toutes ces pièces entr'elles, en longueur & en épaisseur, l'aimant est capable d'en porter beaucoup plus, que si on le chargeoit d'une seule pièce, ou la figure entre aussi principalement en considération. Mais pour lui faire porter la plus grande charge qu'il soit possible, il faut faire enforte que les deux poles réunissent leurs forces.

Pour cet effet on applique *Tab. IV. fig. 1.* aux deux poles *A* & *B* un morceau de fer doux *CD*, qui touche parfaitement les bases

des pieds, & dont la figure soit telle, que la matière magnétique qui sort par B, y trouve le passage le plus commode pour rentrer par l'autre bout A; un morceau de fer pareil s'appelle support de l'aimant, & comme la matière magnétique y entre en sortant de l'aimant en B, & rentre dans l'aimant en A en sortant du support, celui-ci sera attiré aux deux poles à la fois, & y tiendra par conséquent avec une très-grande force. Pour connoître celle que l'aimant y exerce, on attache au support par le milieu F un poids, qu'on augmente jusqu'à ce que l'aimant ne soit plus capable de le soutenir, & on dit alors que ce poids contrebalance la force magnétique de l'aimant: c'est ce que V. A. doit entendre quand on dit, que tel aimant porte dix livres, un autre trente livres &c. On prétend que le cercueil de Mahomet est porté par la force d'un aimant, ce qui ne seroit pas impossible, puisqu'on a déjà fait des aimants artificiels qui portent au-delà de 100 livres.

Un aimant garni de son support, ne perd rien de la matière magnétique; qui achève son tourbillon entier au-dedans de l'aimant & du fer, desorte que rien n'en échappe dans l'air. Puis donc que le magnétisme n'exerce sa force qu'autant que la matière magnétique s'échappe d'un corps pour rentrer dans l'autre, un aimant dont le tourbillon est fermé, ne devroit exercer nulle-part de force magnétique: cependant quand on le touche sur la plaque en a

avec la pointe d'une aiguille, on y sent une forte attraction, parceque la matière magnétique étant obligée de changer subitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, trouve une route plus commode en traversant l'aiguille, qui par conséquent sera attirée à la plaque *a a*. Mais, par là même, le tourbillon sera dérangé en-dedans, il ne coulera plus si copieusement dans les pieds; & si l'on touche la plaque par plusieurs aiguilles, ou qu'on y applique des règles de fer plus fortes, on détruira tout-à-fait le courant des pieds & la force qui attire le support s'évanouira entièrement, de sorte qu'il sera arraché sans effort; on reconnoit par-là, que les pieds perdent leur force magnétique d'autant que l'aimant en exerce en d'autres endroits, & l'on est en état d'expliquer par ce moyen plusieurs phénomènes très-surprenans, qui, sans la théorie, seroient absolument insolubles.

C'est ici la place de l'expérience qui nous montre qu'après avoir appliqué à un aimant armé son support, on peut augmenter de jour en jour le poids qu'il est capable de porter, qui pourra surpasser enfin le double de celui qu'il avoit porté d'abord. Il faut donc faire voir comment la force magnétique peut augmenter avec le tems dans les pieds de l'armature. Le cas rapporté ci-dessus du dérangement du tourbillon nous apprend, qu'au moment qu'on applique le support, le courant de matière magnétique est encore assez irrégulier, qu'une

bonne partie s'en échapera encore par la plaque *bb*, & que ce ne sera qu'avec le tems qu'elle se frayera des canaux magnétiques par le fer; aussi est-il probable que, lorsque le courant est devenu plus libre, il s'en formera de nouveaux dans l'aimant même, entant qu'il contient, outre ses canaux fixes, des poles mobiles comme le fer. Mais dès qu'on arrache le support, le courant en étant troublé, & ces nouveaux canaux détruits en grande partie, la force redevient subitement aussi petite qu'au commencement, & il faut attendre quelque tems, jusqu'à ce que ces canaux avec le tourbillon soient remis dans leur état précédent. J'avois fait autrefois un aimant artificiel, qui ne portoit d'abord que dix livres, & quelque tems après je fus très-surpris de voir qu'il en portoit plus de trente. On remarque, principalement dans les aimants artificiels, que le tems seul les renforce très-considérablement, mais que cet accroissement de force ne dure que jusqu'à ce qu'on en arrache le support.

le 21 Novembre 1761.

L E T T R E C L X X X I I I .

APRÈS avoir expliqué à V. A. la nature des aimants en général, il me reste un article aussi curieux qu'intéressant, sur la manière dont on communique au fer & principalement à l'acier la force magnétique, & même la plus grande possible.

V. A. a bien vû que, plaçant du fer dans le tourbillon magnétique d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouît presque tout-à-fait, dès qu'on l'éloigne de l'aimant, & que le tourbillon seul de la terre est capable d'imprimer au fer avec le tems une légère force magnétique; or l'acier étant plus dur que le fer, & presque tout-à-fait insensible à cette action du tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour lui donner le magnétisme, mais aussi conserve-t-il la force magnétique plus longtemps.

Il faut pour cela recourir à l'attouchement & même au frottement: je commencerai donc par expliquer de quelle méthode on se servoit ci-devant, pour rendre magnétiques les aiguilles dont on se sert dans les bouffoles; toute l'opération consistoit à les frotter au pôle d'un aimant excellent nud, ou armé.

On posoit l'aiguille *a b c* *Tab. IV. fig. 2.* sur une table, & on passoit le pôle B de l'aimant

par dessus, de *b* vers *a*, & étant parvenu au bout *a*, on levoit l'aimant bien haut & on le ramenoit par l'air en *b*, on répétoit cette opération plusieurs fois de suite, en prenant bien garde que l'autre pole de l'aimant, qui auroit tout gâté, n'approchât point de l'aiguille. Après avoir passé quelquefois le pole B de l'aimant sur l'aiguille de *b* en *a*, on verra que l'aiguille est devenue magnétique, & que le bout *b* fera le pole du même nom que celui de l'aimant dont on a frotté. Si l'on veut que le bout *b* devienne le pole boréal, en frottant avec le pole boréal de l'aimant, il faut passer de *b* vers *a*; mais si l'on vouloit frotter avec le pole méridional, il faudroit l'appliquer au bout *a*, & le conduire à celui *b*.

Cette manière de frotter ou toucher, est nommée à *simple touche*, puis qu'on ne touche que d'un seul pole; mais elle est fort défectueuse, & ne communique que peu de force à l'aiguille, quelque'excellent que fut l'aimant; aussi ne réussit-elle pas, lorsque l'acier est porté au plus haut degré de dureté, ce qui seroit pourtant l'état le plus propre pour la conservation du magnétisme. V. A. jugera elle-même fort aisément des défauts de cette manière à la *simple touche*.

Supposons que B soit le pole de l'aimant par où sort la matière magnétique, puisque les effets des deux poles sont si semblables, qu'il est impossible d'y remarquer la moindre différence: ayant posé le pole sur le bout *b* de l'aiguille

le, la matière magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle se meut dans l'aimant, incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui est dans l'air hors de l'aimant; mais que deviendra cette matière dans l'aiguille? elle ne sauroit sortir par le bout b , elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers a , & le pole B marchant du même côté favorisera ces efforts; mais dès que le pole B parviendra vers a , la difficulté de sortir par le bout a causera des efforts contraires, dont la matière magnétique sera poussée de a vers b ; & avant que le premier effet soit entièrement détruit, celui-ci ne sauroit avoir lieu. Ensuite quand on porte de nouveau le pole B sur le bout b , on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant sans produire un courant en sens contraire de b vers a , & par conséquent, lorsque le pole B parviendra au-delà de c vers a , il produira plus aisément un courant de a vers b , sur-tout quand on appuyera plus sur la moitié ca : d'où il est clair, que l'aiguille ne sauroit acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns aussi ne frottent *Tab. III. fig. 10.* que la moitié ca en passant de c vers a , & d'autres ne font que toucher le bout a de l'aiguille par le pole B de l'aimant, & cela à-peu-près avec le même succès. Mais il est évident que la matière magnétique qui entre par le seul bout a , ne sauroit agir assez vigoureusement sur les pores de l'aiguille, pour les arranger conformément à la nature magnétique, & que

la force qui lui fera imprimée par cette méthode, doit être très-petite, & même nulle, si l'acier est bien trempé.

Il me semble donc qu'on pourroit remédier à ces défauts de *la simple touche*, de la manière suivante; du succès de laquelle je ne doute point quoique je ne l'aye pas essayée encore, mais d'autres expériences m'en assurent.

Je voudrois *Tab. III. fig. 11.* enchaîner le bout *b* de l'aiguille dans une règle de fer doux *EF*; & je crois qu'il seroit bon de faire cette règle très-mince & aussi étroite que possible, mais le bout doit y être parfaitement appliqué & même enchaîné dans un creux bien ajusté. Quand on pose le pôle *B* de l'aimant sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique qui y entre, ne trouvant presque aucune difficulté à traverser la règle de fer, prendra d'abord son cours dans la direction *bd*; & à mesure que le pôle avance vers *a*, la matière magnétique n'a pour continuer ce cours, qu'à arranger les pores sur lesquels elle agit immédiatement; & quand on sera parvenu jusqu'en *a*, tous ces pores, ou au moins la plupart, seront déjà disposés suivant cette direction. Quand ensuite on recommence à frotter le bout *b*, on ne détruit rien, mais on continue de perfectionner le courant de la matière magnétique, suivant la même direction *bd* en arrangeant aussi les pores qui ont résisté à la première opération, & ainsi les canaux magnétiques, dans l'aiguille, deviendront toujours plus parfaits. Quelques traits
du

du pôle B feront fuffifans pour cela pourvu que l'aimant ne foit pas trop foible : & je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu auffi dur qu'il eft poffible, n'obéiffe à cette méthode ; ce qui eft un grand avantage pour la construction des bouffoles, puifqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent fouvent, par un léger accident, toute leur force magnétique ; ce qui expoferoit les vaiſſeaux aux plus grands dangers, fi l'on n'en avoit pas d'autres en réferved. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidens ne font point à craindre, & comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles conſervent cette qualité avec plus de vigueur.

le 24 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXIV.

AU lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la ſimple touche, en le frottant d'un ſeul des poles d'un aimant, on ſe ſert aujourd'hui de *la double touche*, où l'on frotte avec les deux poles à la fois ; ce qui ſe fait aifément par un aimant armé.

Soit EF *Tab. IV. fig. 4.* une barre de fer ou d'acier, qu'on veut rendre magnétique, après l'avoir bien fixée ſur une table, on y poſe les deux pieds A & B d'un aimant. Dans cet état,

V. A. verra aisément que la matière magnétique qui sort de l'aimant par le pied B pénétrera dans la barre, & s'y répandroit en tous sens, si le pied A n'attiroit de son côté la matière magnétique contenue dans les pores de la barre. Cet épuisement en *d* déterminera donc la matière qui entrera par le pole B, à prendre son cours de *c* vers *d*, pourvu que les deux poles A & B ne soient pas trop éloignés l'un de l'autre. Alors le courant magnétique se frayera un chemin dans la barre pour passer du pole B dans celui A, en y disposant les pores à former des canaux magnétiques; il est fort aisé de s'assurer si cela arrive; on n'a qu'à voir si l'aimant est fortement attiré à la barre, ce qui ne manque jamais, si la barre est de fer doux, puisque la matière magnétique le pénètre aisément. Mais si la barre est d'acier, l'attraction est souvent fort petite, ce qui est une marque que la matière magnétique n'est pas capable de s'ouvrir le passage de *c* vers *d*, d'où l'on conclut que l'aimant est trop foible, ou que l'espace entre ses deux poles est trop grand: il faudra donc employer dans ce cas un aimant plus fort, ou dont les pieds soient plus proches, soit enfin changer l'armature de l'aimant comme en *fig. 3. Tab. IV.*

Mais voici des moyens pour remédier à cet inconvénient.

Ayant disposé *Tab. IV. fig. 4.* dans les petits intervalles *cd*, les pores convenablement au magnétisme, il faut passer & repasser plusieurs

fois l'aimant sur la barre d'un bout à l'autre, sans l'en ôter qu'on ne s'apperçoive que l'attraction n'augmente plus; car il est sûr que l'attraction croît à mesure que la force magnétique augmente. La barre EF deviendra magnétique par cette opération, enforte que le bout E vers lequel le pole A étoit tourné, fera le pole ami de A, & par conséquent du même nom que l'autre pole B. Ensuite, en ôtant l'aimant, puisqu'il y a des canaux magnétiques formés par toute la longueur de la barre, la matière magnétique répandue dans l'air traversera ces canaux & fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a* & sortira par celui *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a* & formera un tourbillon selon que la figure de la barre le permet.

Je remarque, à cette occasion, que la formation d'un tourbillon est absolument nécessaire pour augmenter le magnétisme; car si toute la matière magnétique qui sort par le bout *b* échappoit, & se dispersoit entièrement, sans retourner en *a*, l'air n'en fourniroit pas assez à l'autre bout *a*, ce qui diminueroit la force magnétique. Mais si une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b*, retourne en *a*, l'air est bien suffisant pour fournir le reste, & peut-être encore davantage, si les canaux magnétiques de la barre sont capables de la recevoir; la barre acquerra donc alors une force magnétique beaucoup plus grande.

Cette considération me conduit à exposer à

V. A. comment on peut conferver la matière magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit d'empêcher que la matière magnétique qui les traverse, ne se difperfe dans l'air, on difpofe toujours ces barres par *paires*, qui font de même grandeur. On les met fur une table, dans une fîtuation parallèle, enforte que les poles amis ou de diférens noms foient tournés du même côté, comme *Tab. IV. fig. 5.*

MM & NN repréfentent les deux barres, dont les poles amis *ab*, *ba* font tournés du même côté. Pour ne pas fe tromper, on fait d'abord fur chaque barre une marque X, au bout où eft le pole boréal, & on applique de chaque côté un morceau de fer doux EE & FF, pour recevoir le courant magnétique. De cette manière, toute la matière magnétique qui traverse la barre MM & qui fort par le bout *b*, paffe dans le morceau de fer EE & s'y ouvre aifément un chemin, pour paffer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF qui la reconduit dans la première barre MM par le bout *a*. C'eft ainfi que la matière magnétique continuera à circuler, fans qu'il en échappe rien; & en cas même qu'il n'y en eut pas d'abord affez pour remplir le tourbillon, l'air fournira le refte, & le tourbillon, par les deux barres, reftera dans toute fa force.

On peut auffi employer cette difpofition des deux barres pour les aimanter l'une & l'autre à la fois. Il faut paffer les deux poles d'un ai-

mant sur les deux barres, en passant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, & faire plusieurs tours, en observant soigneusement que les deux poles de l'aimant A & B soient tournés comme la figure l'indique.

Cette manière d'aimanter deux barres à la fois, doit être plus efficace que la précédente, puisque dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matière magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Ensuite en continuant à le passer sur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétisme, & on ouvrira plusieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon sera fortifié de plus en plus, sans souffrir aucun affoiblissement. Si les barres sont épaisses, il sera bon de les tourner & de les frotter de la même manière sur les autres faces, afin que l'action magnétique le pénètre tout-à-fait.

Après avoir acquis ces barres magnétiques MM, NN *Tab. IV. fig. 6.* on peut s'en servir au lieu d'aimant naturel, pour en aimanter d'autres. On les joint ensemble en haut, de sorte que les deux poles amis *a b* se touchent, & on éloigne en bas les deux autres poles *b* & *a*, autant qu'on le juge à propos. Ensuite on frotte par les deux bouts d'en bas, qui tiennent lieu des deux poles d'un aimant, deux autres barres EF de la manière que j'ai expliqué ci-dessus.

Comme ces deux barres sont jointes en for-

me de compas, on a la commodité de les ouvrir aussi peu qu'on veut, à quoi un aimant n'est pas propre; & le courant magnétique passera aisément en haut, où les barres se touchent, de l'une dans l'autre; on pourroit encore y mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; de cette manière, on aimantera très-promtement autant de doubles barres qu'on voudra.

le 28. Novembre 1761.

LETTRE CLXXXV.

QUOIQUE cette manière d'aimer à double touche soit très-préférable à la précédente, on ne sauroit cependant porter la force magnétique au-delà d'un certain degré. Soit qu'on se serve d'un aimant naturel, ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais autant de force que celles-là; l'effet ne pouvant jamais être plus grand que la cause.

Si les barres avec lesquelles on frotte, ont peu de force; celles qui sont frottées en auront encore moins; la raison en est évidente: car comme des barres dépourvues de force magnétique ne sauroient en produire en d'autres, une force magnétique médiocre n'est pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre cette règle à la rigueur ; & croire qu'il soit impossible de produire une plus grande force magnétique , à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. une méthode , par laquelle on peut augmenter la force magnétique presque aussi loin qu'on veut en commençant par la plus petite. C'est une découverte moderne , qui mérite d'autant plus d'attention , qu'elle nous éclaire incomparablement mieux la nature du magnétisme.

Supposons qu'on n'ait qu'un aimant très-foible , ou , au défaut d'aimant naturel , des barres de fer rendues un peu magnétiques par le seul tourbillon de la terre , comme je l'ai exposé à V. A. dans mes lettres précédentes ; il faut se procurer huit barres d'acier fort petites & point trempées , pour recevoir plus aisément la petite force magnétique que le foible aimant , ou ces barres un peu magnétiques , sont capables de leur communiquer , en frottant chaque paire ou couple , de la manière que j'ai exposée précédemment. Ayant donc quatre paires de barres tant soit peu magnétiques , on en prend deux paires qu'on joint ensemble comme on voit en *fig. 7. Tab. IV.*

En réunissant les deux barres par les poles de même nom , on n'en fait qu'une épaisse du double , dont on forme le compas AC & BD qui se touchent en haut CD , où pour entretenir mieux le courant magnétique , on peut mettre un morceau de fer doux P. On en ou-

vre les jambes , autant qu'on le juge à propos , & l'on en frotte , l'une après l'autre , les autres qui , par ce moyen , acquerront plus de force qu'auparavant , puisque la force des deux paires s'y réunit. On n'a puis qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées , de la même manière , & en froter l'une après l'autre les deux paires dont on s'étoit servi la première fois , & la force de celles-ci fera considérablement augmentée. On joindra ensuite ces deux paires ensemble , & on frotera encore les autres pour y augmenter la force magnétique , & on continuera de froter alternativement deux paires par les deux autres : on les portera par cette opération à un tel degré de force , qu'il ne fera plus susceptible d'augmentation ultérieure , même en la continuant plus longtemps. Quand on a plus de quatre paires de ces barres , au lieu de deux paires , on peut en joindre trois ensemble , & froter ensuite les autres ; on les portera plus vite , par ce moyen , au plus haut degré.

Les plus grands obstacles sont donc surmontés , & , par le moyen de ces barres jointes par deux ou plusieurs paires ensemble , on en frotera d'autres d'acier bien trempé , & qui sont , ou de même grandeur , ou plus grandes encore que les premières , auxquelles on communiquera ainsi la plus grande force dont elles soient susceptibles.

En commençant par les barres que je viens de décrire , on peut pousser ces opéra-

tions jusqu'à des barres d'une grandeur énorme, & faites de bon acier trempé, moins sujet à perdre la force magnétique. Il faut seulement observer que, pour frotter de grandes barres, il faut en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins le double de celui d'une grande barre. Mais il vaudra toujours mieux aller par degré, & frotter chaque espèce de barres par d'autres qui ne soient pas beaucoup plus petites, ou il suffiroit d'en joindre deux paires: car quand on est obligé d'en joindre plusieurs paires, les bouts par lesquels on frotte ont trop d'étendue, & la matière magnétique, qui passe par-là, s'empêchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; & d'autant plus, qu'elle entre dans la barre perpendiculairement, & qu'il faut qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matière magnétique y soit conduite par un petit espace, & qu'elle ait déjà une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au-dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussiroit, à cet égard, de la manière suivante.

La *fig. 8. Tab. IV.* représente cinq paires MM, NN jointes ensemble, mais pas en forme de compas. Il y a en haut une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; je ne frotte point en bas immédiatement par les bouts des barres, mais j'enchasse ces bouts de chaque côté dans un pied de fer doux, en les affermis-

fant par quelques vis O. Chaque pied est courbe en AB, enforte que la direction de la matière magnétique, qui traverse librement ces pieds, s'approche déjà beaucoup de l'horizontale, & que dans la barre frottée EF elle n'a pas besoin de changer beaucoup de direction. Je ne doute nullement que, par le moyen de ces pieds, la barre EF ne reçoive une beaucoup plus grande force magnétique, que si on la frottoit immédiatement par les bouts des barres, dont la grosseur & la direction verticale s'opposent naturellement à la formation des canaux magnétiques dans la barre EF: aussi peut-on, en suivant cette méthode, approcher ou éloigner les extrémités des pieds A & B à volonté.

Je dois encore faire observer que, lorsque ces barres perdent avec le tems de leur force magnétique, on les rétablit aisément par les mêmes opérations.

le 1 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVI.

QUAND on veut faire des expériences sur le magnétisme, il faut être pourvu d'un grand nombre de barres magnétiques, depuis les plus petites jusques aux plus grandes: chacune peut être regardée comme un aimant particulier, ayant ses deux poles, l'un boréal & l'autre méridional.

V. A. a dû trouver très-remarquable que, moyennant la force magnétique la plus foible que nous fournisse un misérable aimant naturel, ou quelques pincettes de cheminée, qui ont acquis avec le tems un peu de magnétisme, on soit en état d'augmenter cette force jusqu'à rendre les plus grandes barres d'acier douées du plus haut degré de force magnétique, dont elles soient susceptibles. Il seroit superflu d'ajouter que, par cette méthode, on peut faire les meilleures aiguilles aimantées, non-seulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque chose sur la fabrique des aimants artificiels, qui ont pour la plûpart la figure d'un fer à cheval, comme V. A. en aura vu sûrement.

Ces aimants artificiels rendent, dans toutes les occasions, les mêmes services que les naturels, & nous procurent encore l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur suffisante. On les fait d'acier bien trempé, & la figure de fer à cheval semble la plus propre à maintenir le tourbillon. Après que l'ouvrier a fait cette pièce, on lui communique la plus grande force magnétique dont elle soit susceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la construction. On comprend aisément, que plus cet aimant est grand, plus on doit y employer de grandes barres, & c'est pourquoi on doit être pourvu de toutes sortes.

Pour aimanter un fer à cheval HIG, *Tab. IV. fig. 9.* qui doit être d'acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC & BD avec leurs supports de fer doux appliqués de deux côtés, dont la figure ne représente que l'un FF, l'autre ayant été ôté à mesure qu'on appliquoit les pieds du fer à cheval, comme on le voit dans la figure. Dans cet état, la matière magnétique qui traverse les barres fera des efforts pour passer par le fer à cheval, mais vu la dureté de l'acier trempé, elle ne fera pas suffisante pour ranger les pores, & s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, & on le fait passer de la même manière sur le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux poles du fer à cheval; de cette manière on y ouvrira les canaux magnétiques, & la matière subtile des barres, en le traversant, formera le tourbillon magnétique. Il faut bien prendre garde, dans cette opération, que les jambes du compas, en passant sur le fer à cheval, ne touchent les bouts A & B des barres; ce qui troubleroit le courant de la matière magnétique, qui passeroit immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou, les tourbillons des barres & du compas se dérangeroient mutuellement.

Le fer à cheval acquerra par-là une grande force magnétique, étant traversé par un cou-

rant magnétique très-copieux ; il ne s'agit plus que de le détacher des barres , sans que le courant soit dérangé. Si on l'arrachoit brusquement , le tourbillon magnétique feroit détruit , & l'aimant artificiel en retiendrait très-peu de force.

Les canaux magnétiques ne se conservant qu'autant que la matière magnétique les traverse , il faut en conclure que les particules qui forment par les pores ces canaux , se trouvent dans un état forcé , qui ne se maintient que tant que la force du tourbillon y agit , & que dès qu'elle cesse , ces particules , par leur élasticité , se détournent de leur situation , & les canaux magnétiques seront subitement interrompus & détruits. C'est ce que nous voyons très-clairement dans le fer doux , dont les pores se rangent promptement à l'approche d'un tourbillon magnétique , mais ne conservent presque plus de force magnétique , dès qu'on l'éloigne ; ce qui prouve que les pores du fer sont mobiles , mais doués d'un ressort qui change leur situation , dès que la force cesse. Ce n'est qu'après bien du tems , que quelques pores se fixent dans la position qui leur a été imprimée par la force magnétique , ce qui arrive sur-tout dans les barres de fer exposées long-tems au tourbillon de la terre. L'acier a ses pores bien moins flexibles , & qui se maintiennent mieux dans l'état auquel ils ont été forcés , ils sont pourtant sujets à quelque dérangement , dès que la force cesse d'y agir , mais d'autant moins , que

l'acier est plus dur. C'est pourquoi les aimants artificiels doivent être faits d'acier très-bien trempé ; si on les faisoit de fer, ils acquerraient bien d'abord, étant appliqués aux barres magnétiques, une très-grande force, mais, au moment qu'on les en détacheroit, toute la force s'évanouiroit. C'est pourquoi il faut prendre des précautions en détachant des barres les aimans faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en séparer, on pose leur support, *Tab. IV. fig. 10.* fait d'un fer bien mol, selon la ligne MN dans la figure, en prenant garde que le support ne touche point les barres, ce qui gâteroit tout & obligeroit à recommencer les opérations. Alors, une bonne partie de la matière magnétique qui circule dans l'aimant GGI, prendra sa route par le support, & formera un tourbillon à part, qui se conservera après la séparation.

Ensuite on pousse lentement le support sur les jambes de l'aimant jusqu'aux bouts, comme on voit par la figure, & dans cet état on le laisse reposer pendant quelque tems, afin que le tourbillon s'affermisse. On charge aussi le support d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours, bien entendu, que le support doit être ajusté de manière qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

le 5 Décembre 1761.

L E T T R E C L X X X V I I .

J'E crois, à présent, que les merveilles de la dioptrique seront un sujet digne de l'attention de V. A. la dioptrique nous fournit deux sortes d'instrumens composés de verres, qui servent à augmenter notre vue, pour découvrir des objets qui échapperoient à la vue simple.

Il y a deux cas où notre vue a besoin de secours : le premier, lorsque les objets sont trop éloignés de nous, pour que nous puissions les voir distinctement ; tels sont les corps célestes, sur lesquels on a fait les plus importantes découvertes, par le moyen des instrumens de dioptrique. V. A. se souviendra bien, de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur les satellites de Jupiter, qui nous conduisent à la découverte de la longitude : ils ne sont visibles que par le secours de bonnes lunettes, & les satellites de Saturne en demandent de plus excellentes encore.

Il y a de plus sur la surface de la terre, les objets fort éloignés, qu'on ne sauroit voir & examiner exactement que par le secours de lunettes qui nous les représentent de la même manière que si nous les voyons de près. Ces lunettes ou instrumens de dioptrique, pour les objets fort éloignés, sont aussi nommés *télescopes* & lunettes d'observation.

L'autre cas où notre vue a besoin de secours,

est lorsque les objets , quoiqu'assez proches , sont trop petits pour que nous puissions en distinguer les parties. Si l'on veut , par exemple , découvrir toutes les parties d'une jarbe de mouche ou de quelqu'insecte plus petit : s'il s'agit d'examiner les particules de notre propre corps , comme les fibres les plus petites de nos muscles , de nos nerfs , on ne sauroit y réussir sans le secours de certains instrumens , qu'on nomme *microscopes* , qui nous représentent les petits objets de la même manière , que s'ils étoient cent & même mille fois plus grands.

Voilà donc deux sortes d'instrumens , les télescopes & les microscopes , par lesquels la dioptrique supplée à la foiblesse de notre vue. Il n'y a que quelques siècles que ces instrumens ont été inventés , & ce n'est que dès-lors qu'on a fait les plus importantes découvertes dans l'astronomie , à l'aide des télescopes & des lunettes , & dans la physique à l'aide des microscopes.

Ces effets merveilleux ne sont produits que par la figure qu'on donne à des morceaux de verre , & l'heureuse combinaison de deux ou plusieurs verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique est la science qui en renferme les principes , & V. A. voudra bien se souvenir qu'elle roule principalement sur la route que tiennent les rayons de la lumière , lorsqu'ils traversent des intermédiaires transparens de différente qualité , lorsqu'ils passent , par exemple , de l'air
dans

dans le verre ou dans l'eau , & réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons sont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin *Tab. IV. fig. 11.* selon des lignes droites LA, LB, LC, LD, tirées du point L, d'où partent ces rayons, & lorsqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent & y dépeignent l'image de l'objet d'où ils sont partis. Dans ce cas la vision est nommée simple, ou naturelle, & nous représente les objets tels qu'ils sont en effet. La science qui nous explique les principes de cette vision, est nommée *l'optique*.

Mais lorsque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, sont réfléchis sur une surface bien polie, telle qu'un miroir, la vision n'est plus naturelle; puisqu'ici, nous voyons les objets autrement & dans un autre lieu qu'ils ne sont effectivement. La science qui explique les fondemens de cette vision par des rayons réfléchis, est nommée *catoptrique*. Elle nous fournit aussi des instrumens propres à augmenter la portée de notre vue, & V. A. connoît ces sortes d'instrumens qui, par le moyen d'un ou deux miroirs, nous rendent le même service que les lunettes composées de verres. Ce sont ceux qu'on nomme *télescopes*: mais pour les distinguer des lunettes ordinaires qui ne sont composées que de verres, il vaudroit mieux les appeller télescopes catoptriques réfléchissans, ou de réflexion. Ce seroit au-moins parler plus exactement; car

le nom de télescopes a été en usage avant la découverte des instrumens à miroirs, & signifioit alors la même chose que lunette.

Je me propose d'entretenir à présent V. A. uniquement des instrumens dioptriques, dont nous avons deux espèces, les télescopes ou lunettes, & les microscopes. On se sert pour les uns & les autres, de verres formés de différentes manières, dont je vais expliquer les diverses espèces, parmi lesquelles il y en a d'abord trois principales, selon la figure qu'on donne à la surface du verre.

La première est la *plane*, lorsque la surface d'un verre est plane, comme celle d'un miroir ordinaire. Si l'on prend, par exemple, un morceau de miroir, & qu'on ôte le vif-argent attaché à la surface de derrière, on aura un verre dont les deux surfaces seront *planes* & qui aura par-tout la même épaisseur.

La seconde est la *convêxe*; le verre est alors plus élevé dans le milieu que vers les bords.

La troisième est la *concave*: le verre est alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois différentes figures qu'on peut donner à la surface d'un verre, naissent les six espèces de verres de *fig. 12. Tab. IV.*

I. Le verre *plano-plane* est celui dont les deux surfaces sont planes.

II. Le verre *plano-convêxe* a une surface plane & l'autre convêxe.

III. Le verre *plano-concave* a une surface plane & l'autre concave.

IV. Le verre *convêxo-convêxe* est celui dont les deux surfaces sont convêxes.

V. Le verre *convêxo-concave* ou *ménisque* a une surface convêxe & l'autre concave.

VI. Le verre *concavo-concave* enfin, a les deux surfaces concaves.

Il est à propos de remarquer que la figure représente les coupes de ces verres ou lentilles.

le 8 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVIII.

APRÈS ce que je viens de dire sur les faces convêxes & concaves des lentilles, V. A. comprend aisément, qu'il peut y en avoir d'une infinité de façons, puisque tant la convêxité que la concavité peuvent être plus ou moins grandes. Il n'y a qu'une seule espèce de surfaces planes parce qu'une surface ne peut être plane que d'une seule manière : mais une surface convêxe peut être regardée comme faisant partie d'une sphère, & , selon que le rayon soit diamètre de cette sphère est plus ou moins grand, la convêxité sera différente. Ou, comme nous représentons les verres sur le papier par des arcs de cercle, selon que ces cercles sont plus ou moins grands, il en résulte une infinité de verres, tant par rapport à la convêxité qu'à l'égard de la concavité de leurs surfaces.

Pour ce qui est de la manière dont on forme & polit les verres, on se donne tous les soins possibles pour rendre leur figure exactement circulaire ou sphérique: on se sert pour cela de bassins de métal formés au tour, sur une surface sphérique en dedans & en dehors.

Soit *AEBDFC Tab. IV. fig. 13.* la coupe d'un semblable bassin, qui aura deux faces *AEB* & *CFD*, dont chacune peut avoir son rayon à part; quand on frotte un morceau de verre sur la partie concave *AEB* de ce bassin, il deviendra convexe; mais si on le frotte sur la partie convexe *CFD*, il deviendra concave. On se sert en premier lieu de sable pour frotter le verre contre le bassin, jusqu'à ce qu'il en ait pris la figure, & ensuite on se sert d'une terre fine pour le dernier poli.

Pour connoître la véritable figure des faces d'une lentille, on n'a qu'à mesurer le rayon de la face du bassin, sur laquelle cette lentille a été formée, car la véritable mesure de la convexité & de la concavité des surfaces, c'est le rayon du cercle ou de la sphère qui leur convient, & dont elles font partie.

Ainsi quand je dis *Tab. V. fig. 1.* que le rayon de la face convexe *AEB* est de trois pouces, il faut entendre que *AEB* est un arc de cercle décrit avec un rayon de 3 pouces, l'autre face *AB* étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les yeux de V. A. la différence entre les convexités, lorsque leurs rayons sont plus ou moins grands,

je mettrai plusieurs figures de différente convexité *Tab. V. fig. 1.*

On voit par-là que, plus le rayon est petit plus la surface est courbée, ou différente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus la surface approche de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne droite. Si je faisois le rayon encore plus grand, on n'y appercevroit enfin presque plus de courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN *Tab. V. fig. 2.* dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied, & si le rayon étoit encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendrait tout-à-fait insensible à la vue.

Il n'en est cependant pas ainsi à l'égard de la dioptrique, & j'aurai l'honneur de faire remarquer à V. A. dans la suite, que quand le rayon seroit de cent ou de mille pieds, & que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet ne laisseroit pas d'être encore très-sensible. Il faudroit effectivement que le rayon fut infiniment grand, pour que la face devint parfaitement plane: d'où V. A. peut conclurre qu'une face plane peut être regardée comme une face convexe dont le rayon est infiniment grand, ou comme une face concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas que la convexité & la concavité se confondent ensemble, desorte que la face plane est le milieu qui sépare la convexité de la concavité.

Mais plus les rayons sont petits, plus les

convexités & les concavités deviennent sensibles ou grandes, & de-là on dit réciproquement, qu'une convexité ou concavité est d'autant plus grande, que son rayon, qui en est la mesure, est petit.

Quelque grande que soit d'ailleurs la variété qui peut se rencontrer dans les lentilles ou verres, selon que leurs deux surfaces sont planes, convêxes, ou concaves, & ceci encore d'une infinité de manières différentes; par rapport à l'effet qui en résulte dans la dioptrique, on peut néanmoins les ranger en trois classes principales, que voici.

La première comprend les verres qui sont par-tout également épais; soit que leurs deux faces soient planes & parallèles entr'elles, *Tab. V. fig. 3.* soit que l'une soit convêxe & l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre, *Tab. V. fig. 4.* de sorte que l'épaisseur reste par-tout la même. Il est à remarquer sur ces verres, qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'est comme s'il n'y avoit rien entre nos yeux & les objets; aussi, ne sont-ils d'aucun usage dans la dioptrique. Ce n'est pas que les rayons qui entrent dans ces verres ne souffrent aucune réfraction, mais parceque la réfraction à l'entrée est parfaitement redressée à la sortie, de sorte que les rayons, après avoir traversé le verre, reprennent la même route qu'ils avoient tenue avant que d'y entrer. Ce sont donc les verres des deux autres classes qui, à cause de

leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La seconde classe de verres renferme ceux qui sont plus épais vers le milieu que vers les bords *Tab. V. fig. 5.*

L'effet en est le même, tant que l'excès de l'épaisseur du milieu sur celle des bords tient le même rapport à la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette classe *convêxes*, puisque la convèxité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces peut être plane & même concave.

La troisième classe contient les verres qui sont plus épais par les bords que vers le milieu. *Tab. V. fig. 6.* qui tous produisent un semblable effet, dépendant de l'excès d'épaisseur vers les bords sur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troisième classe, on les nomme simplement *concaves*. Il faut bien les distinguer de ceux de la seconde classe qui sont les *convêxes*.

C'est des verres de ces deux dernières classes que je me propose d'entretenir V. A. dans mes lettres suivantes, en y exposant leurs effets dans la dioptrique.

le 12 Décembre 1761.

L E T T R E C L X X X I X .

P OUR expliquer à V. A. l'effet que produisent les verres convêxes & concaves dans l'apparition des objets, il faut distinguer deux cas, l'un où l'objet est très-éloigné du verre, & l'autre où il se trouve plus rapproché.

Mais avant que d'entreprendre cette explication, je dois dire un mot sur ce qu'on nomme l'axe d'un verre. Comme les deux surfaces sont représentées par des arcs de cercle, on n'a qu'à tirer une ligne droite par les centres de ces deux cercles; cette ligne est nommée l'axe du verre. Dans la *fig. 7. Tab. V.* du verre AB, le centre de l'arc AEB étant en C & celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD est nommée l'axe de ce verre, & il est aisé de voir que cet axe passe par le milieu. Il en est de même si les faces des verres sont concaves. Or si l'une est plane, l'axe y fera perpendiculaire, en passant par le centre de l'autre face.

On peut voir par-là que l'axe traverse perpendiculairement les deux faces, & qu'ainsi un rayon de lumière qui vient dans la direction de l'axe, n'y souffre aucune réfraction, puisque les rayons qui passent d'un milieu dans un autre, ne sont rompus ou réfractés, qu'entant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut aussi prouver que tous les autres rayons qui passent par le milieu O du verre, ne souffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent parallèles à eux-mêmes.

Il faut considérer pour en comprendre la raison, que les deux faces du verre sont parallèles entr'elles aux points E & F, car l'angle MEB que fait le rayon ME avec l'arc de cercle EB, ou sa tangente en E, est parfaitement égal à l'angle PFA, que ce même rayon prolongé FP fait avec l'arc de cercle AF ou sa tangente en F : V. A. se souvient que ces deux angles sont nommés alternes, & qu'il est démontré que, lorsque les angles alternes sont égaux, les lignes droites sont parallèles entr'elles : par conséquent les deux tangentes en E & en F seront parallèles, & il en sera de même que si le rayon MEF P passoit par un verre, dont les deux faces fussent parallèles entr'elles. Or nous avons vu ci-dessus, que les rayons ne changent point de route en passant par un tel verre.

Après ces remarques, considérons un verre convexe AB, *Tab. V. fig. 8.* dont l'axe soit la ligne droite OEF P, & supposons qu'il se trouve sur son axe à une grande distance du verre un objet ou point lumineux O, qui répand des rayons en tous sens : il y en aura qui passeront par notre verre AB, tels que OM, OE & ON, dont celui du milieu OE ne souffrira aucune réfraction, mais continuera sa route à travers du verre, suivant la di-

rection F J P. Les deux autres rayons O M & O N en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant, de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, & continueront ensuite leur route dans les directions J Q & J R : on peut aussi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M & N seront rompus, en sorte qu'ils se réunissent avec l'axe au-même point J. Donc les rayons qui sans l'interposition du verre, auroient continué leurs routes rectilignes O M & O N, suivront après la réfraction d'autres routes, comme s'ils étoient partis du point J ; & s'il y avoit un œil quelque part en P, il en seroit affecté comme si le point lumineux étoit actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à supposer, pour un moment, qu'il y ait en J un objet réel, qui répandant ses rayons, seroit également vu d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre ; parcequ'il y a en J une image de l'objet O, & que le verre A B y représente l'objet O, ou le transporte presque en J ; ce n'est donc plus le point O qui est l'objet de la vue, mais plutôt son image représentée en J.

Ce verre produit donc un changement bien considérable : un objet fort éloigné O est transporté subitement en J, d'où l'œil doit sans doute recevoir une impression toute autre que si, ôtant le verre, l'œil voioit immédiatement l'ob-

jet O. Que V. A. considère une étoile en O, puisque nous supposons que le point O est extrêmement éloigné, le verre nous représentera en J l'image de cette étoile, mais cette image qu'on ne sauroit toucher & qui n'a aucune réalité, puisqu'il n'existe rien en J, si ce n'est, que les rayons partis du point O y sont rassemblés par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus, que l'étoile nous paroîtroit de la même manière que si elle existoit réellement en J. Comment un corps plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, pourroit-il exister en J? Nos sens en seroient frappés bien différemment : il faut donc remarquer que ce n'est qu'une image représentée en J, comme celle d'une étoile représentée dans le fonds de l'œil, ou celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de surprenant.

le 15 Décembre 1761.

L E T T R E C X C.

JE destine cette lettre à exposer à V. A. quel effet produisent les verres convèxes, soit ceux qui sont plus épais par le milieu que vers les bords. Tout consiste à déterminer le changement que les rayons souffrent dans leur route, lorsqu'ils passent par un tel verre. Pour

mettre cette recherche dans tout son jour, il faut bien distinguer deux cas, l'un où l'objet est fort éloigné du verre, & l'autre où il en est assez près. Je considérerai donc d'abord le premier cas, où l'objet est extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig. 9. Tab. V.*, MN est le verre convexe, & la ligne droite O A B JS son axe, qui passe perpendiculairement par le milieu; remarquons en passant, que cette propriété de l'axe de chaque verre de passer perpendiculairement par son milieu, nous en donne l'idée la plus juste qu'on puisse s'en former. Concevons maintenant que sur cet axe se trouve quelque part en O, un objet OP que je représente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puisse avoir; & comme chaque point de cet objet lance ses rayons en tout sens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent sur le verre.

Je bornerai donc mes réflexions sur ceux qui proviennent du point O, situé dans l'axe même du verre. La figure nous représente trois de ces rayons, O A, O M & O N, dont le premier O A passant par le milieu du verre, ne souffre aucun changement dans sa route qu'il continue, après avoir traversé le verre selon la première direction B JS, c'est-à-dire, dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons O M & O N souffrent une réfraction, tant en entrant qu'en sortant du verre, par laquelle ils sont détournés de leur première

route; de façon qu'ils se réuniront quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites MJQ & NJR; de sorte que dans la suite lorsqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet que si le point O existoit en J, puisqu'ils tiennent la même route. C'est pourquoi l'on dit que le verre convexe transporte l'objet de O en J, mais pour distinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à son tour est nommé l'objet.

Ce point J est très-remarquable, & lorsque l'objet O est extrêmement éloigné, l'image en est aussi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raison à V. A. Si c'est le soleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent sur le verre sont tous réunis dans le lieu J, & comme ils sont extrêmement forts & doués de la qualité d'échauffer, il est naturel que la réunion de tant de rayons en J, produise un degré de chaleur capable de brûler les choses combustibles qu'on y met. Or le lieu où tant de chaleur est réunie se nomme *foyer*; la raison de cette dénomination à l'égard des verres convêxes est évidente. C'est pourquoi un verre convêxe est aussi nommé *verre ardent*, dont les effets sont sûrement bien connus à V. A. Je remarque seulement que cette propriété de réunir les rayons du soleil, dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres

convêxes; ils réunissent aussi les rayons de la lune, des étoiles & de tous les corps fort éloignés; & quoique leur force soit trop petite pour produire quelque chaleur, on se sert pourtant du même nom de foyer: ainsi le foyer d'un verre n'est autre chose que le lieu où l'image des objets fort éloignés est représentée: à quoi il faut encore ajouter cette condition, que l'objet soit situé dans l'axe même du verre; car s'il étoit hors de l'axe, son image seroit aussi représentée hors de l'axe, j'aurai occasion d'en parler dans la suite.

Au reste, il est bon d'ajouter encore les remarques suivantes sur le foyer.

1. Comme le point O, ou l'objet, est infiniment éloigné, les rayons OM, OA & ON peuvent être considérés comme parallèles entr'eux, & par la même raison parallèles à l'axe du verre.

2. Le foyer J est donc le point derrière le verre, où les rayons parallèles à l'axe, qui tombent sur le verre, sont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, & le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné & situé dans l'axe du verre est représentée, sont la même chose.

4. L'éloignement du point J derrière le verre, soit la distance BJ, est nommé la distance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomment aussi la distance focale.

5. Chaque verre convexe a sa distance de

foyer particulière, l'un plus grande & l'autre plus petite, ce qu'on trouve aisément en exposant le verre au soleil, & observant où les rayons se réunissent.

6. Les verres qui sont formés par des arcs de petits cercles, ont leur foyer fort près derrière eux; mais ceux dont les faces sont des arcs de grands cercles, ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il est important de savoir la distance du foyer de chaque verre convexe dont on se sert dans la dioptrique, & il suffit d'en connoître le foyer, pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou télescopes que dans les microscopes.

8. Si l'on se sert de verres également convêxes des deux côtés, desorte que chaque face réponde au même cercle, alors le rayon de ce cercle donne à-peu-près la distance du foyer de ce verre, ainsi pour faire un verre ardent, qui brûle à la distance d'un pied, on n'a qu'à former ses deux faces suivant un cercle dont le rayon est d'un pied.

9. Mais lorsque le verre est plano-convêxe, sa distance de foyer est à-peu-près égale au diamètre du cercle qui convient à la face convêxe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire, facile à entendre.

le 19 Décembre 1761.

L E T T R E C X C I.

AYANT remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convexe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais toujours situés dans l'axe du verre, & j'observe d'abord, que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons *Tab. V. fig. 10.* que *F* soit le foyer du verre *MM*, desorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre ou au haut de la figure, l'image soit représentée en *F*, en approchant l'objet du verre & le plaçant successivement en *P*, *Q*, *R*, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*, plus éloignés du verre que le foyer; ou bien, si *AP* est la distance de l'objet, *Bp* sera la distance de l'image; & si *AQ* est la distance de l'objet, *Bq* sera celle de l'image, & la distance *Br* de l'image répondra à la distance de l'objet *AB*.

On a une règle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derrière le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre; mais je ne veux pas ennuyer V. A. par une exposition sèche de cette règle; il suffira de remarquer en général, que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derrière le verre devient grande. J'ajouterai outre cela

la l'exemple d'un verre convexe, dont la distance du foyer est de 6 pouces, ou d'un verre tel, que si la distance de l'objet est infiniment grande, la distance de l'image derrière le verre, soit précisément de 6 pouces; maintenant, si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera suivant cette table.

Distance de l'objet	Distance de l'image
infini	6
42	7
24	8
18	9
15	10
12	12
10	15
9	18
8	24
7	42
6	infini

ainsi l'objet étant éloigné de 42 pouces du verre, l'image tombera à la distance de 7 pouces, & ainsi d'un pouce plus loin que le foyer. Or si l'objet se trouve à la distance de 24 pouces, l'image se trouvera à celle de 8 pouces, & par conséquent de deux pouces au-delà du foyer & ainsi de suite.

Quoique ces nombres ne conviennent qu'à

un verre dont la distance du foyer est de 6 pouces, on en peut pourtant tirer quelques conséquences générales.

1. Si la distance de l'objet est infiniment grande, l'image tombe dans le foyer même.

2. Si la distance de l'objet est deux fois plus grande que la distance du foyer, la distance de l'image fera aussi deux fois plus grande que celle du foyer, ou bien l'objet & l'image feront également éloignés du verre. Dans l'exemple rapporté ci-dessus, la distance de l'objet étant de 12 pouces, celle de l'image est aussi de 12 pouces.

3. Lorsqu'on approche l'objet du verre, de façon que la distance soit précisément égale à celle du foyer, (comme de 6 pouces dans l'exemple ci-dessus) alors l'image s'éloigne à l'infini derrière le verre.

4. Aussi voit-on en général, que la distance de l'objet & celle de l'image se répondent réciproquement, ou si l'on met l'objet à la place de l'image, elle tombera dans le lieu de l'objet.

5. Si donc le verre M.M. *Tab. V. fig. II.* rassemble en J les rayons qui émanent du point O, ce même verre y rassemblera aussi les rayons qui émanent du point J.

6. C'est la suite d'un grand principe de la dioptrique, en vertu duquel on soutient que, quelles que soient les réfractions que les rayons ont souffert en passant par plusieurs milieux réfringens, ils pourroient toujours retourner sur la même route.

Cette vérité est très-importante dans la connoissance des verres ; ainsi quand je fais , par exemple , qu'un verre a représenté , à la distance de 8 pouces ; l'image d'un objet éloigné de 24 pouces ; je puis hardiment en conclure , que si l'objet étoit éloigné de 8 pouces , le même verre en représenteroit l'image à la distance de 24 pouces.

Il est aussi essentiel de remarquer que , lorsque la distance de l'objet est égale à celle du foyer , l'image s'éloignera subitement à l'infini ; ce qui est parfaitement d'accord avec le rapport qui se trouve entre l'objet & l'image.

V. A. sera sans-doute curieuse de savoir en quel lieu l'image sera représentée , lorsqu'on approche davantage l'objet du verre & que sa distance devient plus petite que celle du foyer. Cette question est d'autant plus embarrassante , qu'il faudroit répondre que la distance de l'image devroit être alors plus grande que l'infini , puisque plus l'objet s'approche du verre , plus l'image s'en éloigne. Mais l'image étant déjà éloignée à l'infini , comment est-il possible , que sa distance devienne plus grande ? Cette question pourroit sans-doute embarrasser les philosophes , mais il est fort aisé d'y répondre par les mathématiques. L'image passera d'une distance infinie , à l'autre côté du verre , & par conséquent du même où se trouve l'objet. Quelque bizarre que paroisse cette réponse , elle est non-seulement confirmée par le raisonnement , mais par l'expérience , de-

forte qu'on ne sauroit douter de sa justesse; croître au-delà de l'infini, est la même chose que passer de l'autre côté: ce qui est sans-doute un véritable paradoxe.

le 22 Décembre 1761.

LETTRE CXCI.

V. A. ne doit plus douter que chaque verre convexe ne représente quelque part l'image des objets qui lui sont opposés, & que, dans chaque cas, le lieu de l'image varie autant selon l'éloignement de l'objet, que selon la distance du foyer du verre, mais il me reste à expliquer encore un article bien important, concernant la grandeur de l'image.

Lorsqu'un tel verre nous représente l'image du soleil, de la lune, ou d'une étoile à la distance d'un pied, V. A. s'imagine bien que ces images doivent être incomparablement plus petites que les objets mêmes. Une étoile étant beaucoup plus grande que toute la terre, comment seroit-il possible qu'une aussi grande image nous fut représentée à la distance d'un pied? Mais l'étoile ne nous paroissant que comme un point, l'image représentée par le verre ressemble aussi à un point, &, par conséquent, est infiniment plus petite que l'objet même.

Il y a donc, dans chaque représentation faite

par les verres, deux choses à considérer, l'une regarde le lieu où l'image est représentée, & l'autre la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-différente de celle de l'objet. La première étant suffisamment éclaircie, je vais exposer à V. A. une règle très-simple, qui lui fera juger aisément, dans chaque cas, de quelle grandeur doit être l'image représentée par le verre.

Soit *OP Tab. VI. fig. 1.* un objet quelconque, situé sur l'axe du verre convexe *MN*, il faut d'abord chercher le lieu de l'image en *J*, de sorte que le point *J* est l'image du bout *O* de l'objet, puisque les rayons émanés du point *O*, y sont réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu sera représentée l'image de l'autre point *P* de l'objet; pour cet effet, considérons les rayons *PM*, *PA*, *PN*, qui partant du point *P* tombent sur le verre; j'observe que le rayon *PA* qui passe par le milieu du verre ne change point de direction, mais continue sa route *AKS*: ce sera donc quelque part sur cette ligne en *K*, où les autres rayons *PM* & *PN* se réunissent: ou bien le point *K* fera l'image de l'autre bout *P* de l'objet, le point *J* étant celle du point *O*: il est aisé d'en conclure, que *JK* fera l'image de l'objet *OP*, représentée par le verre.

Donc pour déterminer la grandeur de cette image, ayant trouvé le lieu *J*, il ne faut que tirer du bout *P* de l'objet, par le milieu du

verre A, la ligne droite PAKS & poser en J perpendiculairement à l'axe, la ligne JK, & celle-ci fera l'image en question; il est évident par-là que l'image est renversée, desorte que si la ligne OR étoit horizontale & l'objet OP un homme, l'image auroit la tête K en bas & les pieds en haut en J.

J'ajouterai là - dessus les remarques suivantes.

1. Plus l'image *Tab. VI. fig. 2.* est proche du verre, plus elle est petite: & plus elle en est éloignée, plus elle est grande. Ainsi OP étant l'objet placé sur l'axe devant le verre MN; si l'image tomboit en Q, elle feroit plus petite que si elle tomboit en R, S ou T. Car puisque la ligne droite PAz tirée du sommet de l'objet P par le milieu du verre, termine toujours l'image à quelque distance qu'elle s'en trouve, il est évident que, parmi les lignes Qq, Rr, Ss, Tt, la première Qq est la plus petite, & que les autres croissent à mesure qu'elles s'éloignent du verre.

2. Il y a un cas où l'image est précisément égale à l'objet; c'est lorsque la distance de l'image est égale à celle de l'objet, ce qui arrive, comme j'ai déjà remarqué, quand la distance de l'objet AO est double de celle du foyer du verre; l'image fera alors Tt enforte que la distance BT est égale à AO. V. A. n'a donc qu'à considérer les deux triangles OAP & TAz, qui ayant tant les angles opposés par la pointe en A, que les côtés AO, & AT égaux

entr'eux, & de plus, les angles en O & T qui sont droits : ces deux triangles sont égaux entr'eux & ainsi le côté Tt , qui est l'image, est égal au côté OP qui est l'objet.

3. Si l'image étoit deux fois plus éloignée du verre que l'objet, elle feroit double de l'objet ; & , en général , autant de fois que l'image est éloignée du verre que l'objet , elle fera plus grande. Or plus on approche l'objet du verre ; plus l'image s'en éloigne, & devient par conséquent plus grande.

4. Il arrive le contraire lorsque l'image est plus proche du verre que l'objet ; elle est alors autant de fois plus petite que l'objet, qu'elle est plus proche du verre que lui. Si donc la distance de l'image étoit 1000 fois plus petite que celle de l'objet, elle feroit aussi mille fois plus petite.

5. Appliquons cela aux verres ardens qui, exposés au soleil, représentent son image dans le foyer, ou plutôt le foyer, c'est-à-dire, ce cercle lumineux & brillant qui brule, & qui n'est autre chose que l'image du soleil représentée par le verre. V. A. ne fera donc plus surprise de la petitesse de l'image, quoique le soleil soit si excessivement grand, puisqu'elle est autant de fois plus petite que le véritable soleil dans le foyer, que la distance du soleil est plus grande que celle de l'image au verre.

6. Il est donc clair, que plus la distance du foyer d'un verre ardent est grande, plus le cercle est brillant dans le foyer, c'est-à-dire,

plus l'image du soleil fera grande : & le diamètre du foyer est toujours environ 100 fois plus petit que la distance du foyer au verre.

J'aurai dans la suite l'honneur de parler à V. A. des différens usages qu'on fait des verres convexes, qui sont tous si curieux, qu'ils méritent bien son attention.

le 26 Décembre 1761.

LETTRE CXCIIL.

LE premier usage des verres convexes est celui des verres ardents, dont l'effet doit paroître tout-à-fait surprenant à ceux mêmes qui ont déjà quelque teinture de la physique. En effet, qui croiroit que la simple image du soleil soit capable d'exciter un degré si prodigieux de chaleur? Mais V. A. n'en fera plus surprise, si elle daigne faire quelque attention aux réflexions suivantes.

1. Soit *Tab. VI. fig. 3.* MN un verre ardent, qui reçoit sur sa surface les rayons du soleil R, R, R, rompus de façon qu'ils présentent en F un petit cercle lumineux, qui est l'image du soleil, & d'autant plus petit, qu'il est plus près du verre.

2. Tous les rayons du soleil qui tombent sur la surface du verre, sont réunis dans le petit espace du foyer F, ainsi leur effet doit

y être autant de fois plus grand, que la surface du verre surpasse la grandeur du foyer soit l'image du soleil. On dit que les rayons qui étoient dispersés par toute la surface du verre sont concentrés dans le petit espace F.

3. Les rayons du soleil ayant un certain degré de chaleur, ils exercent ce pouvoir dans le foyer à un degré fort sensible; on peut même estimer combien de fois ce degré doit surpasser la chaleur naturelle des rayons du soleil : il ne faut que voir combien de fois la surface du verre est plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'étoit pas plus grand que le foyer, la chaleur ne surpasseroit point la naturelle; il faut en conclure, que pour qu'un verre ardent produise un grand effet, il ne suffit pas qu'il soit convexe ou qu'il représente l'image du soleil, il faut encore qu'il ait une surface qui surpasse plusieurs fois la grandeur du foyer, qui est d'autant plus petit, qu'il est proche du verre.

5. La France possède le plus excellent verre ardent; sa largeur est de 3 pieds, & on estime sa surface près de 2000 fois plus grande que le foyer ou l'image du soleil qu'il représente. Il faut donc qu'il produise dans le foyer une chaleur 2000 fois plus grande que celle que nous ressentons du soleil. Aussi ses effets sont-ils prodigieux : au premier instant tout bois est enflammé, les métaux sont fondus en peu de minutes; &, en général, le feu le plus ardent qu'on puisse produire, n'est pas à com-

parer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On estime la chaleur de l'eau bouillante environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du soleil pendant l'été, ou ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante est trois fois plus grande que la chaleur naturelle du sang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb, il faut une chaleur trois fois plus grande que pour faire bouillir de l'eau, & pour fondre du cuivre, il la faut trois fois plus grande encore. L'or en exige un bien plus haut degré; une chaleur 100 fois plus grande que celle de notre sang est donc capable de fondre l'or; combien de fois une chaleur 2000 fois plus grande, ne doit-elle donc pas surpasser la force de nos feux ordinaires?

7. Mais comment les rayons du soleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y produisent-ils ces effets prodigieux? C'est une question bien difficile, sur laquelle les philosophes sont fort partagés. Ceux qui soutiennent que les rayons sont une émanation du soleil, lancée avec la grande vitesse dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A., ne sont pas en peine là-dessus, ils n'ont qu'à dire que la matière des rayons, frappant les corps avec violence, doit en briser & détruire tout-à-fait les moindres particules. Mais ce sentiment ne peut plus avoir lieu en saine physique.

8. L'autre système, qui met la nature de

la lumière dans l'ébranlement de l'éther, paroît peu propre à expliquer ces effets surprenans des verres ardents. En pesant bien cependant toutes les circonstances, on sera bientôt convaincu de la possibilité. Les rayons naturels du soleil excitent en tombant sur un corps, les moindres particules de sa surface à un ébranlement, ou mouvement de vibration, qui à son tour est capable d'exciter de nouveaux rayons, qui nous rendent ce même corps visible. Et un corps n'est éclairé, qu'autant que ses propres particules sont mises dans un mouvement de vibration si rapide, qu'il soit capable de produire de nouveaux rayons dans l'éther.

9. Il est donc clair, que si les rayons naturels du soleil ont assez de force pour ébranler les moindres particules des corps, ceux rassemblés dans le foyer, doivent mettre celles qu'ils y rencontrent dans une agitation si violente, que leur liaison mutuelle soit tout-à-fait rompue, & le corps même entièrement détruit, ce qui est l'effet du feu. Car si le corps est combustible comme le bois, la dissolution de ses moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chasse une bonne partie dans l'air, en forme de fumée, & les parties plus grossières restent sous la forme de cendres. Les corps fusibles, comme les métaux, deviennent liquides par la dissolution de leurs particules, d'où l'on peut comprendre, comment le feu agit sur les corps; ce n'est que la liaison entre leurs

plus petites particules qui en est attaquée, & les particules mêmes y sont ensuite mises dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien frappant des verres ardents, qui tire son origine de la nature des verres convêxes. J'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à V. A.

le 28 Décembre 1761.

LETTRE CXCV.

ON fait encore usage des verres convêxes dans les chambres obscures, & par leur moyen tous les objets de dehors sont représentés dans la chambre sur une surface blanche, avec leurs couleurs naturelles, de manière que les payfages, ou les places, y sont représentés dans une plus grande perfection, que ne pourroit le faire un peintre. Aussi les peintres se servent-ils de ce moyen pour dessiner avec exactitude les payfages & autres objets qu'on voit dans l'éloignement. C'est de ces chambres obscures que je me propose d'entretenir V. A.

Dans la *fig. 4. Tab. VI.* EFGH représente la coupe d'une chambre obscure, bien fermée de toutes parts, à l'exception d'un trou rond fait dans un volet, où l'on fixe un verre convêxe d'un foyer tel, que l'image des objets de dehors, comme, par exemple, de l'arbre OP,

tombe exactement sur la muraille opposée FG en op . On se sert aussi d'une table blanche & mobile qu'on met dans le lieu des images représentées.

Ce n'est donc qu'à travers ce trou MN , où est placé le verre, que les rayons de lumière peuvent entrer dans la chambre, sans quoi il y régneroit une obscurité parfaite.

Considérons maintenant le point P de quel qu'objet, la tige par exemple de notre arbre OP . Ses rayons PM , PA , PN tomberont donc sur le verre MN & en seront réfractés, en sorte qu'ils se réunissent de nouveau au point p sur la muraille, ou sur une table blanche mise expressément dans cet endroit. Ce point p ne recevra par conséquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P , de même tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui sont partis du point de l'objet qui y répond; & réciproquement, à chaque point de l'objet du dehors, répondra un point sur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtoit le verre du trou MN , la table seroit tout autrement éclairée, puisqu'alors chaque point de l'objet répandroit ses rayons par toute la table, de sorte que chaque point de la table seroit éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il n'est éclairé que par un seul point de l'objet dont il reçoit les rayons, d'où $V. A.$ comprendra aisément que l'effet doit en être tout-à-fait différent, que si les rayons entroient simplement par le trou MN dans la chambre.

Voyons de plus près en quoi consiste cette différence, & supposons d'abord que le point P de l'objet soit verd, le point *p* de la table ne recevra donc que ces rayons verds de l'objet P, qui en se réunissant feront une certaine impression qu'il s'agit d'examiner ici. Pour cet effet V. A. voudra bien se souvenir des propositions suivantes, que j'ai eu l'honneur de lui expliquer autrefois.

1. Les couleurs diffèrent entr'elles de la même manière que les tons de la musique : chaque couleur est produite par un nombre déterminé de vibrations qui, dans un tems donné, sont excitées dans l'éther. Ainsi la couleur verte de notre point P est appropriée à un certain nombre de vibrations, & ne feroit plus verte si ces vibrations étoient plus ou moins rapides. Quoique nous ne connoissions pas le nombre des vibrations qui produisent telle ou telle couleur, il nous sera toujours permis de supposer ici que la couleur verte exige 12000 vibrations par seconde, & ce que nous dirons de ce nombre de 12000 s'entendra aussi aisément du nombre véritable quel qu'il soit.

2. Cela posé, le point *p* sur la table blanche sera frappé par un mouvement de vibration, dont 12000 s'achèvent dans une seconde. Or j'ai remarqué que les particules d'une surface blanche sont toutes de nature à recevoir toutes fortes d'ébranlemens, plus ou moins rapides, au lieu que celles d'une surface colorée ne sont propres qu'à recevoir le degré de rapidité

qui convient à leur couleur. Et puisque notre table est blanche, le point p y fera excité à un mouvement de vibration convenable à la couleur verte : ou bien il fera agité 12000 fois par seconde.

3. Tant que le point p , ou la particule de la surface blanche qui se trouve en p , est agitée d'un semblable mouvement, elle le communiquera aux particules de l'éther qui l'environnent ; & ce mouvement se répandant en tout sens, engendrera des rayons de la même nature, c'est-à-dire, verts : ainsi que dans les sons, le seul bruit d'un certain son C, par exemple, ébranle une corde tendue au même ton & lui fait rendre du son sans qu'elle soit touchée.

4. Le point p de la table blanche produira donc des rayons verts, comme s'il étoit teint de cette couleur : & ce que je dis du point p , aura lieu également pour tous les autres points de la table éclairée, qui produiront tous les rayons, chacun de la même couleur que l'objet dont il représente l'image. Chaque point de la table deviendra donc visible sous une certaine couleur comme si elle en étoit effectivement teinte.

5. On appercevra donc sur la table toutes les couleurs des objets de dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paroîtra de la couleur de l'objet qui lui répond, & l'on verra sur la table un amas de plusieurs couleurs, dispo-

fées dans le même ordre qu'on les voit sur les objets mêmes, c'est-à-dire, une peinture, ou plutôt le tableau au parfait de tous les objets qui se trouvent hors de la chambre obscure devant le verre NN.

6. Tous ces objets paroîtront cependant renversés, comme V. A. le jugera de ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre O sera représenté en o & la tige P en p: car, en général, chaque objet doit être représenté sur la table blanche, dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A; ce qui est en haut sera par conséquent représenté en bas, & ce qui est à gauche sera à la droite; en un mot tout sera renversé sur le tableau; cependant la représentation sera plus exacte & plus parfaite que ne pourroit la rendre le plus habile peintre.

7. V. A. remarquera, au reste, que cette peinture sera plus petite que les objets mêmes, d'autant que le foyer du verre sera plus court. Ainsi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit; & si l'on souhaite qu'ils soient rendus en grand, il faut employer des verres d'un foyer plus long, ou qui représentent les images à une plus grande distance.

8. Pour contempler plus à son aise ces représentations, on intercepte les rayons par un miroir, d'où ils sont réfractés, enforte qu'ils représentent toute la peinture sur une table horizontale; ce qui est d'une grande commodité lorsqu'on

lorsqu'on veut copier ce qu'on y voit représenté.

le 2 Janvier 1761.

LE T T R E C X C V.

QUOIQUE V. A. n'ait plus aucun doute sur les représentations qui se font dans une chambre obscure par le moyen d'un verre convexe, j'espère que les réflexions suivantes ne seront point superflues, & serviront à mettre cette matière dans un plus grand jour.

1. Il faut que la chambre soit parfaitement obscure; car si elle étoit éclairée, la table blanche seroit visible, & les particules de sa surface déjà ébranlées, ne pourroient plus recevoir l'impression des rayons qui se réuniroient pour former les images des objets qui sont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre soit peu éclairée, on appercevra toujours sur la table quelque chose de la représentation, quoiqu'elle ne soit pas si vive que si la chambre étoit entièrement obscure.

2. En second lieu il faut bien distinguer la peinture exprimée sur la table blanche, de l'image que le verre représente par sa propre nature, comme je l'ai exposé ci-dessus. Il est bien vrai que plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets est formée par le verre, cette image se confondra avec la peinture

qu'on apperçoit sur la table, mais toutefois ces deux choses sont d'une nature tout-à-fait différente : l'image n'est qu'un spectre ou une ombre voltigeant dans l'air, qui n'est visible qu'en certains endroits, tandis que la représentation est un vrai tableau, que tous ceux qui sont dans la chambre peuvent voir, & auquel il ne manque que la durée.

3. Pour éclaircir mieux cette différence, on n'a qu'à bien considérer la nature de l'image *o*, qui est représentée dans la *fig. 5. Tab. VI.* par le verre convexe *MN*, l'objet étant en *O*. Cette image n'est autre chose que le lieu où les rayons *OM*, *OC*, *ON* de l'objet, après avoir traversé le verre, se réunissent par la réfraction, & continuent ensuite leur route comme s'ils venoient du point *o* quoiqu'ils prennent naissance en *O*, & point du tout en *o*.

4. Cette circonstance fait que l'image *o* n'est visible qu'aux yeux qui se trouvent quelque part, entre l'angle *RoQ*, comme en *S*, où un œil recevra effectivement des rayons qui lui viennent du point *o*. Mais un œil placé hors de cet angle, comme en *F* ou en *V*, n'en verra rien du tout, puisqu'aucun des rayons réunis en *o* n'y est dirigé : ainsi l'image en *o* diffère bien essentiellement d'un objet réel : elle n'est visible qu'en certains endroits, & ressemble en cela à ce qu'on nous raconte des spectres.

5. Mais si l'on place en *o* une table blanche, & que sa surface en ce point *o* soit réellement excitée à un ébranlement semblable à celui qui

règne dans l'objet O, cet endroit o de la surface engendre lui-même des rayons qui le rendent visible par-tout. Voilà donc la différence entre l'image d'un objet & sa représentation, faite dans une chambre obscure : l'image n'est visible qu'en certains endroits, savoir dans ceux par où passent les rayons qui viennent originai-
rement de l'objet ; au lieu que la peinture, soit la représentation formée sur la table blanche, est vue par ses propres rayons excités par le tremouffement des particules de sa surface, & par conséquent, par-tout dans la chambre obscure.

6. On voit aussi qu'il faut absolument mettre la table blanche exactement dans le lieu de l'image formée par le verre ; afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un seul point de l'objet : car si d'autres rayons y tomboient aussi, ils troubleroient l'effet de ceux-là, ou rendroient la représentation confuse.

7. Si l'on ôtoit le verre tout-à-fait, & que les rayons trouvaient une entrée libre dans la chambre obscure, la table blanche en feroit éclairée sans qu'on y vît aucune peinture : les rayons des différens objets tomberaient sur chaque point de la table & n'y exprimeroient aucune image déterminée. Ainsi la peinture qu'on voit dans une chambre obscure sur une surface blanche est l'effet du verre convexe fixé au volet ; c'est lui qui réunit de nouveau dans un

seul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. On observe cependant ici un phénomène bien singulier, lorsque le trou fait au volet de la chambre obscure est très-petit: quoiqu'il n'y ait point alors de verre, on apperçoit cependant sur la muraille opposée, les images des objets qui sont en dehors, & même avec leurs couleurs naturelles: mais la représentation est très-foible & confuse, & dès qu'on élargit le trou, ce spectacle disparoit entièrement. Je vais expliquer la cause de ce phénomène.

Dans la *fig. 6. Tab. VI.* MN est la petite ouverture par laquelle les rayons des objets de dehors entrent dans la chambre obscure EFGH. La muraille FH vis-à-vis du trou est blanche, pour mieux recevoir l'impression de toutes sortes de rayons.

Que le point O marque un objet, dont il n'y a que les rayons OM, ON, avec ceux qui se trouvent entr'eux, qui peuvent entrer dans la chambre: ces rayons tomberont sur le petit espace oo de la muraille & l'éclaireront: cet espace oo fera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN fera petit: si donc ce trou étoit très-petit, nous aurions l'effet précédent, où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un seul point de l'objet: il s'y feroit par conséquent une représentation semblable à celle que produit le verre convexe placé dans le trou du volet. Mais dans ce cas-ci, le trou ayant une cer-

taine étendue, quelque petit qu'il soit, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit espace oo sur la muraille & l'ébranlera par ses rayons. Il arrivera donc à-peu-près la même chose que si un peintre, au lieu de faire des points sur le tableau, y faisoit avec un gros pinceau des taches d'une certaine grandeur, en observant toutefois le dessein & le coloris : ce fera à un pareil barbouillage que ressemblera notre représentation faite sur la muraille : cependant elle sera d'autant plus nette, que le trou par lequel les rayons entreront fera petit.

le 5 Janvier 1762.

LE T T R E . C X C V I .

LA chambre obscure n'a proprement d'effet que sur des objets fort éloignés, mais V. A. sent bien, que son usage s'étend aussi à des objets plus voisins ; il faut alors éloigner davantage du verre la table blanche, conformément à cette règle générale, que plus on approche l'objet du verre convexe, plus l'image, où la table blanche doit être placée, s'en éloigne ; & si la chambre n'est pas assez profonde, il faut prendre un verre dont le foyer soit plus court.

On pourroit donc placer hors de la chambre, devant le trou où est le verre convexe, un objet quelconque ou un tableau, & on en

verroit une copie sur la table blanche dans la chambre obscure; plus grande que l'original, ou plus petite, selon que la distance de l'image feroit plus ou moins grande: mais il feroit plus commode que l'objet put être exposé dans la chambre obscure même, afin que l'on put le manier & le changer comme on le jugeroit à propos. Il se présente une grande difficulté à résoudre; l'objet deviendrait obscur lui-même, & par conséquent incapable de produire l'effet que nous souhaiterions.

Il s'agit donc d'éclairer l'objet le plus qu'on pourra dans la chambre obscure même, sans que la lumière puisse pénétrer dans la chambre. J'en ai trouvé le moyen; V. A. se souviendra que je l'ai exécuté dans une machine de cette nature, que j'ai eu l'honneur de lui présenter il y a six ans: & V. A. comprendra bientôt la construction & les principes sur lesquels elle est fondée.

Cette machine consiste en une caisse bien fermée de tous côtés, à-peu-près semblable à la *fig. 7. Tab. VII.* où le côté de derrière *E G* a une ouverture *IK*, pour y chasser les objets, portraits ou autres peintures *OP* qu'on veut représenter; de l'autre côté vis-à-vis est un tuyau *MNQR*, contenant un verre convexe *MN*; ce tuyau est mobile, pour pouvoir approcher le verre de l'objet ou l'en éloigner comme on voudra. Alors, pourvu que l'objet *OP* soit bien éclairé, le verre en jettera quelque part l'image *op*, & si l'on y place une table

blanche, on y verra une copie parfaite de l'objet, d'autant plus claire que l'objet lui-même sera plus éclairé.

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux aîles à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mèches, & mis dans chaque aîle un miroir qui réfléchit la lumière des lampes sur les objets *OP* : au-dessus, en *EF* est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet *OP* peut recevoir une très-forte illumination, sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine il faut remarquer les articles suivans :

- I. Si l'on enfonce le tuyau *MNQR*, ou qu'on approche le verre *MN* de l'objet *OP*, l'image *op* s'éloignera, il faut donc reculer la table blanche pour y recevoir l'image, qui en deviendra plus grande, & même on peut la grossir autant qu'on veut, en approchant davantage le verre *MN* de l'objet *OP*.
- II. En éloignant le verre de l'objet, la distance de l'image diminuera, il faut alors approcher la table blanche du verre pour avoir une représentation nette & distincte, mais elle sera plus petite.
- III. Il est clair que l'image sera toujours renversée, mais il est aisé de remédier à cet inconvénient, il ne faut que renverser l'objet *OP* même, en tournant le haut en bas, &

l'image fera représentée debout sur la table blanche.

IV. C'est encore une remarque générale, que plus on grossit l'image sur la table blanche moins elle aura de lumière & fera plus obscure : mais si l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuse & plus brillante. La raison en est évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet ; plus elle est répandue dans un grand espace, plus elle doit être affoiblie, & plus elle est resserrée, plus elle sera brillante.

V. Ainsi, plus on veut grossir la représentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en augmentant la lueur des lampes dans les ailes de la machine ; une illumination médiocre suffit.

La machine dont je viens de donner la description, est nommée *Lanterne magique*, pour la distinguer d'une chambre obscure ordinaire, dont on se sert pour représenter les objets éloignés : la figure a sans doute occasionné le nom de lanterne, sur-tout parce qu'on y enferme des lumières ; mais l'épithète de *magique* vient de ce que les premiers possesseurs ont voulu persuader au peuple qu'il y avoit de la magie ou du sortilège. Cependant les lanternes magiques ordinaires ne sont point construites de cette façon, & ne servent à représenter d'autres objets que des figures peintes sur le verre, au lieu que cette machine-ci peut être appliquée à toutes sortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets, & les grossir prodigieusement, desorte que la plus petite mouche paroîtra aussi grande qu'un éléphant : mais alors la clarté des lampes ne suffit pas ; il faut disposer la machine de manière que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil renforcés par un verre ardent : la machine change alors de nom, & s'appelle *microscope solaire* ; j'aurai occasion d'en parler plus amplement dans la suite.

le 8 Janvier 1762.

LE T T R E C X C V I I.

ON se sert aussi de verres convêxes pour regarder immédiatement à travers : mais pour en expliquer les différens usages, il faut pousser nos recherches sur la nature plus loin.

Ayant observé la distance de foyer d'un tel verre, j'ai déjà remarqué que, lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même, mais qu'en approchant l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus-en-plus, desorte que si la distance de l'objet est égale à celle du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, & devient par conséquent infiniment grande.

C'est parceque *Tab. VI. fig. 7.* les rayons

OM, OM, qui tombent du point O sur le verre, sont rompus par le verre, enforte qu'ils deviennent paralleles entr'eux comme NF & NF, & comme les lignes paralleles sont censées courir à l'infini, & que l'image est toujours où les rayons, qui sont fortis d'un point de l'objet, se réunissent de nouveau après la réfraction; dans le cas où la distance de l'objet OA est égale à celle du foyer du verre, le lieu de l'image s'éloigne à l'infini, & puisqu'il est indifférent qu'on conçoive que les lignes paralleles NF & NF concourent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles concourent vers la droite, on peut dire également que l'image se trouve tant à droite qu'à gauche, dans un éloignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera facilement en quel lieu l'image doit se trouver, lorsqu'on approche davantage l'objet du verre.

Soit OP, *Tab. VI. fig. 8.* l'objet, & puisque sa distance OA du verre convexe est moindre que sa distance de foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du point O sont trop divergens, pour que la force réfractive du verre puisse les rendre paralleles entr'eux: ils seront donc encore divergens après la réfraction, comme le marquent les lignes NF, NF, mais beaucoup moins qu'auparavant, ainsi en prolongeant ces lignes en arrière, elles concourront quelque part en o, comme V. A. peut le voir dans les lignes ponctuées No,

N^o. Par conséquent les rayons NF, NF, après avoir passé par le verre, tiennent la même route que s'ils venoient du point *o*, quoiqu'ils n'aient pas passé par ce point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils ont pris cette nouvelle route. Un œil qui reçoit ces rayons réfractés NF, NF fera donc affecté, comme s'ils venoient du point *o*, & s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Il n'y aura pourtant pas d'image comme dans le cas précédent, on auroit beau mettre une table blanche en *o*, il ne s'y représenteroit aucun tableau, faute de rayons, c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, qui n'est point réelle : le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existoit en *o*. Il est donc très-important de connoître, comme dans les cas précédens, le lieu & la grandeur de cette image imaginaire *op*. Il suffit pour le lieu, de remarquer que, si la distance de l'objet AO étoit égale à la distance du foyer du verre, l'image en seroit éloignée à l'infini, & c'est ce que ce cas a de commun avec le précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que celle du foyer du verre, plus l'image imaginaire s'approche du verre, quoique pourtant, elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même

Pour éclaircir la chose par un exemple , supposons que la distance de foyer du verre soit de 6 pouces , & pour les différens éloignemens de l'objet , la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.

Distance de l'objet A O	Distance de l'image imaginaire A o
6	infinie
5	30
4	12
3	6
2	3
1	1 & un cinquième

La règle pour trouver la grandeur de cette image imaginaire *op* est aisée & générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué C) & par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite C P *p* ; & à sa rencontre avec la ligne *op* tirée perpendiculairement en o à l'axe du verre , se trouvera la grandeur de l'image imaginaire *op* ; d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. On voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais debout comme l'objet.

V. A. doit comprendre quel usage, les personnes dont la vue n'est pas propre à regar-

der les objets de près, & qui les voyent mieux dans un grand éloignement, peuvent tirer de ces verres. Elles n'ont qu'à regarder les objets par des verres convêxes, pour les voir comme s'ils étoient fort éloignés. Le défaut de ne pas bien voir les objets près a lieu ordinairement chez les vieillards, qui se servent en conséquence de lunettes à verres convêxes, qui, exposés au soleil, brûlent comme un verre ardent, ce qui fait connoître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer soit fort court, d'autres d'un foyer plus grand, selon la portée de leur vue; mais il me suffit pour le moment d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

le 12 Janvier 1762.

LETTRE CXCVIII.

V. A. a vu comment les verres convêxes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils ne sont effectivement: il y a par-contre des yeux qui demandent, pour voir les objets distinctement, qu'ils leur soient représentés plus près, & ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service: ce qui me conduit à l'explication de

l'effet des verres concaves, directement contraire à celui des verres convêxes.

Lorsque l'objet *OP Tab. VI. fig. 9.* est fort éloigné, & que ses rayons *OM*, *OM* tombent presque parallèles sur le verre concave *TV*, alors, au lieu de devenir convergens par la réfraction du verre, ils deviennent plus divergens au contraire, en suivant les routes *N F*, *N F*, qui, prolongées en arrière, concourent dans le point *o*; de sorte qu'un œil placé par exemple en *E*, reçoit ces rayons réfractés de la même manière que s'ils partoient du point *o*, quoiqu'effectivement ils viennent du point *O*; & c'est pourquoi j'ai ponctué dans la figure les lignes droites *No*, *No*.

Comme l'objet est supposé infiniment éloigné, si le verre étoit convêxe, le point *a* feroit ce qu'on nomme foyer, mais puisqu'il n'arrive ici aucune concurrence réelle de rayons, on nomme ce point, le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment aussi *point de dispersion*, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc pas un vrai foyer comme les convêxes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre *A o* est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre & sert, par le moyen d'une règle semblable à celle qu'on donne pour les verres convêxes, à déterminer le lieu de l'i-

mage, lorsque l'objet n'est pas infiniment éloigné. Or cette image est toujours imaginaire, au lieu que pour les verres convêxes elle ne le devient, que lorsque l'objet est plus proche que la distance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle qui regarde uniquement le calcul, il suffit de remarquer :

- I. Que lorsque l'objet OP est infiniment éloigné, l'image imaginaire op est représentée à la distance de foyer du verre concave, & cela vers le même côté que se trouve l'objet. Cependant, quoique cette image soit imaginaire, l'œil placé en E est tout aussi bien affecté que si elle étoit réelle; comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au sujet des verres convêxes, où l'objet est plus proche du verre que sa distance de foyer.
- II. Lorsqu'on approche l'objet OP davantage du verre, son image op s'en approchera davantage aussi, mais de manière que l'image sera toujours plus proche du verre que l'objet, au lieu que pour les verres convêxes, l'image en est plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, supposons que la distance de foyer du verre concave soit de 6 pouces;

Si la distance de l'objet $O A$ est	la distance de l'image $o A$ fera ;
infinie	6
30	5
12	4
6	3
3	2
2	1 & demi.

III. On détermine toujours par la même règle la grandeur de l'image imaginaire op . On tire du milieu du verre une ligne droite, à l'extrémité de l'objet P , qui passera alors par l'extrémité p de l'image. Car puisque la ligne PA représente un rayon qui vient de l'extrémité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, passe par l'extrémité de l'image ; mais puisque ce rayon PA passe par le milieu du verre, il ne souffre aucune réfraction, il faut donc qu'il passe lui-même par l'extrémité de l'image, qui sera en p .

IV. Cette image n'est pas renversée, mais dans son sens naturel comme l'objet ; & l'on peut observer cette règle générale, que toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où est l'objet, elle est toujours représentée debout, que le verre soit convexe ou concave ; mais quand elle est représentée de l'autre côté du verre, elle est
alors

alors renversée ; ce qui ne peut avoir lieu que dans les verres convêxes.

V. Il est donc clair , que les images représentées par les verres concaves sont toujours plus petites que les objets : & la raison en est évidente , puisque les images sont plus proches qu'eux : on n'a qu'à regarder la figure pour s'assurer de cette vérité. Ce sont les propriétés principales qu'il faut remarquer sur la nature des verres concaves , & la manière dont ils représentent les objets.

Il est maintenant aisé de comprendre , comment les verres concaves rendent de grands services à ceux qui ont la vue courte. V. A. connoît bien des personnes qui ne sauroient lire ou écrire sans toucher presque le papier de leur né. Il faut donc , pour voir distinctement , qu'ils approchent les objets de leurs yeux , & je crois avoir déjà remarqué qu'on leur donne le nom de Miopes : les verres concaves leur feront donc d'un excellent usage , car ils leur représentent les objets les plus éloignés , comme fort près : les images n'étant éloignées de ces verres que de la distance de leur foyer qui , pour la plûpart , n'est que de quelques pouces.

Il est vrai que ces images sont beaucoup plus petites que les objets mêmes ; mais cela n'apporte aucun obstacle à la vision distincte. Une petite chose peut nous paroître plus grande de près , qu'un très-grand corps fort

éloigné. En effet, une pièce de *deux-dreier* * paroîtra plus grande à V. A. qu'une étoile du ciel, quoique cette étoile surpassât de beaucoup la terre en grandeur.

Ceux qui ont la vue courte, soit les miopes, ont donc besoin de verres qui leur représentent les objets plus près; tels sont les verres concaves. Et ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme prèsbites, ont besoin de verres convêxes, qui leur représentent les objets dans un plus grand éloignement.

le 16 Janvier 1762.

L E T T R E C X C I X.

J'AI eu l'honneur de dire à V. A. que les miopes sont obligés de se servir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, & que les prèsbites font usage de verres convêxes pour bien voir ceux qui sont près: chaque vue a une certaine étendue, & chacun voudroit avoir un verre qui lui représentât parfaitement les objets. Cette distance est fort petite chez les miopes, & très-grande chez les prèsbites: mais il y a des yeux si bien conditionnés, qu'ils voyent également

* Petite monnoye d'argent un peu plus grande que la prunelle de l'œil, qui est la quarante-huitième partie d'un écu.

bien les objets voisins & ceux qui sont à une grande distance.

Cependant, de quelque nature que soit la vue d'un homme, la distance n'est jamais trop petite, il n'y a point de miope qui puisse voir distinctement à moins de distance qu'un pouce; V. A. aura bien observé que, lorsqu'elle approche trop un objet de ses yeux, elle ne le voit que très confusément, cela dépend de la structure des yeux, qui est telle chez les hommes, qu'ils ne peuvent pas voir à trop peu de distance: mais il est sûr que les insectes peuvent voir à de très-petites distances, & que les objets fort éloignés leur sont invisibles. Je ne crois pas qu'une mouche puisse voir les étoiles, parcequ'elle voit très-bien à la distance de la dixième partie d'un pouce, à laquelle nous ne voyons absolument rien. Cette considération me conduit à l'explication des microscopes, qui nous représentent les plus petits objets, comme s'ils étoient bien grands.

Pour en donner une idée juste, il faut bien distinguer la grandeur apparente de chaque objet, de la véritable; celle-ci fait l'objet de la géométrie, & reste invariable tant que le corps demeure dans son état. Mais la grandeur apparente peut varier à l'infini, quoique le corps demeure toujours le même. Ainsi les étoiles nous paroissent extrêmement petites, quoique leur grandeur véritable soit prodigieuse, parceque nous en sommes à une

très - grande distance. Si nous pouvions en approcher , elles nous paroîtroient plus grandes, d'où V. A. jugera que la grandeur apparente dépend de l'angle que font entr'eux les rayons qui viennent des extrémités de l'objet dans nos yeux.

Soit *POQ Tab. VII. fig. 1.* l'objet de notre vue, qui, si l'œil étoit placé en A, paroîtra sous l'angle PAQ, nommé l'angle visuel; & qui nous indique la grandeur apparente de l'objet; d'où il est évident, que plus l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit, & qu'il est possible que les plus grands corps nous paroissent sous un très-petit angle visuel, pourvû que nous en soyons assez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, & qu'il le regarde de B, il lui paroîtra sous l'angle visuel OBQ, qui est visiblement plus grand que PAQ. Approchons l'œil jusqu'en C, & l'angle visuel PCQ sera plus grand encore. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle visuel sera PDQ, & en l'approchant jusqu'en E, l'angle visuel sera PEQ toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle visuel devient grand, & la grandeur apparente plus forte. Quelque petit que soit l'objet, il est donc possible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra: il n'y a qu'à s'en approcher autant qu'il faut, pour un angle visuel aussi grand. Une mouche assez près de l'œil pourra par conséquent

paroître sous un angle aussi grand qu'un éléphant à la distance de dix pieds. Il faut dans une telle comparaison, ajouter soigneusement la distance dans laquelle on suppose voir l'éléphant; sans cette condition, on ne diroit absolument rien; puisqu'un éléphant ne nous paroît grand, que quand nous n'en sommes pas fort éloignés; à la distance d'un mille, on ne distingue peut-être plus un éléphant d'un cochon, & s'il étoit transporté dans la lune, il deviendrait absolument invisible, à cause de sa trop petite grandeur apparente; & je pourrois bien dire qu'une mouche me paroît plus grande qu'un éléphant qui feroit dans un très-grand éloignement. Ainsi, quand on veut parler avec précision, il ne faut pas parler de la grandeur apparente d'un corps, sans avoir égard à sa distance, puisque le même corps peut nous paroître très-grand, ou très-petit, selon que sa distance est plus ou moins grande. Il est donc très-facile de voir les plus petits objets sous de très-grands angles visuels, on n'a qu'à les tenir à une très-petite distance de l'œil.

Cet expédient est très-bon pour une mouche, mais les yeux des hommes ne sauroient rien voir à de trop petites distances, quelque courte que soit leur vue, d'ailleurs les bonnes vues voudroient voir aussi les plus petits objets d'une extrême grosseur. Il s'agit donc de trouver un moyen, par lequel nous puissions voir un objet distinctement, non-obstant sa

grande proximité de l'œil. Les verres convèxes nous procurent cet avantage, en éloignant l'image des objets trop près.

Qu'on se serve d'un verre convexe très-petit MN, *Tab. VII. fig. 2.* dont la distance de foyer soit longue d'un demi pouce; si l'on place devant, un petit objet OP, à une distance un peu moindre que demi pouce, le verre en représentera l'image en *op*, aussi loin qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derrière le verre, & l'on verra l'objet comme s'il étoit en *o*, & dans un éloignement suffisant, comme si sa grandeur étoit *op*: comme l'œil est supposé très-proche du verre, l'angle visuel sera *p i o*, c'est-à-dire, le même que *P i O*, sous lequel l'œil nud verroit l'objet OP dans cette proximité; mais la vision est devenue distincte par le moyen du verre; tel est le principe de la construction des microscopes.

le 19 Janvier 1762.

LETTRE CC.

QUAND plusieurs personnes regardent le même objet par un microscope, le pied d'une mouche par exemple, tous conviennent qu'ils le voyent très-grand, mais leur jugement sur la véritable grosseur sera fort partagé, l'un

dira qu'il lui paroît aussi grand que celui d'un cheval, un autre que celui d'une chèvre, le troisième que celui d'un chat. Personne n'avance donc rien de précis là-dessus, s'il n'ajoute à quelle distance il prétend voir les pieds du cheval, de la chèvre, ou du chat : ils sous-entendent donc chacun sans le dire, une certaine distance, qui étant sans-doute différente, on n'a pas lieu d'être surpris de leurs divers sentimens, puisqu'un pied de cheval vu de loin peut bien ne pas paroître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainsi, quand il s'agit de dire combien un microscope grossit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une manière plus précise, & expliquer principalement la distance, dans la comparaison qu'on veut faire.

Il ne convient donc pas de comparer les apparences que nous offrent les microscopes avec les objets d'une autre nature, que nous sommes accoutumés de voir, tantôt loin, tantôt près ; le plus sûr moyen de régler cette estime, semble celui dont les auteurs qui traitent des microscopes, se servent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microscope, avec l'aspect sous lequel il seroit vu à la vue simple, en étant éloigné à une certaine distance, & ils sont d'avis que, pour bien contempler ce petit objet à la vue simple, il le faut placer à la distance de 8 pouces, en se réglant sur de bons yeux, car un miope s'en aprocheroit bien davantage, & un prèsbite se-

roit le contraire. Mais cette différence n'influe pas sur le raisonnement; pourvu qu'on fixe la distance sur laquelle on se règle; & aucune raison ne nous oblige de fixer une autre distance que celle de 8 pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matière. Ainsi, quand on dit qu'un microscope rend les objets 100 fois plus grands, V. A. entendra, qu'à l'aide de ce microscope, les objets paroissent 100 fois plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces, & par ce moyen, elle se formera une idée juste de l'effet d'un microscope.

En général, un microscope grossit autant de fois qu'un objet paroît plus grand que si on le regardoit sans le secours du verre, à la distance de 8 pouces. V. A. conviendra bien que c'est déjà un effet surprenant, que de voir un objet 100 fois plus grand qu'il ne paroît à la distance de 8 pouces: mais on a poussé la chose beaucoup plus loin, & l'on a des microscopes qui grossissent jusqu'à 500 fois, ce qui est prodigieux; on pourroit bien dire alors que la jambe d'une mouche paroît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourroit faire des microscopes qui grossiroient 1000 fois & même 2000 fois, qui nous découvreroient sans doute quantité de choses qui nous sont encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paroît, par le microscope, 100 fois plus grand qu'étant

vu à la distance de 8 pouces, il faut entendre par-là que l'objet est grossi tant en longueur qu'en largeur & profondeur; de sorte que chacune de ces dimensions paroît 100 fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la distance de 8 pouces un autre objet semblable au premier, mais dont la longueur soit 100 fois plus grande; de même que sa largeur & sa profondeur, & ce sera l'image qu'on voit par le microscope. Or si la longueur, la largeur & la profondeur d'un objet sont cent fois plus grandes que celles d'un autre; V. A. sentira aisément que toute l'étendue sera beaucoup plus de 100 fois plus grande: pour mettre cela dans tout son jour, concevons deux parallelogrammes ABCD, & EFGH, qui ayent la même largeur *Tab. VII. fig. 3.* mais que la longueur du premier AB soit 5 fois plus grande que la longueur de l'autre EF; & il est clair que l'aire, soit l'espace contenu dans le premier, est 5 fois plus grande que celle qui est renfermée dans l'autre, puisqu'en effet celui-ci est contenu 5 fois dans le premier. Donc pour que le parallelogramme AD soit 5 fois plus grand que celui EH, il suffit que sa longueur AB soit 5 fois plus grande, pendant que la largeur est la même; & si outre cela la largeur étoit aussi 5 fois plus grande, il deviendrait encore 5 fois plus grand, & par conséquent 5 fois 5 fois; c'est-à-dire, 25 fois plus grand. Ainsi, de deux surfaces, si l'une est 5 fois plus longue & 5 fois plus

large que l'autre, elle est effectivement 25 fois plus grande.

Si nous mettons encore en ligne de compte la profondeur ou hauteur, l'augmentation fera plus grande encore. Que V. A. conçoive deux chambres, dont l'une soit 5 fois plus longue, 5 fois plus large & 5 fois plus haute que l'autre : sa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'est-à-dire 125 fois plus grande. Donc, lorsqu'on dit qu'un microscope grossit 100 fois, puisqu'on doit l'entendre tant de la longueur que de la largeur & profondeur ou épaisseur, c'est-à-dire, trois dimensions, toute l'étendue de l'objet sera augmentée 100 fois 100 fois 100 fois ; or 100 fois 100 fait 10000, qui étant pris encore 100 fois, donne 1,000,000, ainsi quand un microscope grossit 100 fois, l'étendue entière de l'objet est représentée 1,000,000 fois plus grande. On se contente cependant de dire, que le microscope ne grossit que 100 fois ; mais il faut entendre que chaque dimension, savoir la longueur, la largeur & la profondeur est représentée 100 fois plus grande. Si donc un microscope grossissoit 1000 fois, l'étendue entière de l'objet deviendrait 1000 fois 1000 fois 1000 fois plus grande, ce qui fait 1,000,000,000 ou mille millions, ce qui seroit un effet prodigieux. Cette remarque est bien nécessaire pour se former une idée juste de ce qu'on dit sur la force des microscopes.

le 23 Janvier 1762.

L E T T R E C C I.

AYANT expliqué à V. A. de quelle manière on doit juger de la force des microscopes, il me sera facile de démontrer la proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Je dois remarquer à cette occasion, qu'il y a deux sortes de microscopes, les uns d'un seul verre, & les autres de deux ou plusieurs, qui portent le nom de microscopes simples, & de microscopes composés, & qui exigent des éclaircissemens particuliers. J'entreprendrai V. A. en premier lieu des microscopes simples, qui ne consistent que dans un seul verre convexe, dont l'effet est déterminé par cette proposition : *Un microscope simple grossit autant de fois que sa distance de foyer est plus près que 8 pouces*, en voici la démonstration.

Soit *MN Tab. VII. fig. 4.* un verre convexe dont la distance de foyer soit *CO*, à laquelle il faut placer l'objet *OP*, à-peu-près, afin que l'œil le voye distinctement; il verra cet objet sous l'angle *OCP*. Mais si l'on le regardoit à la distance de 8 pouces, il paroîtroit sous un angle autant de fois plus petit que la distance de 8 pouces surpasse la distance *CO*; l'objet paroîtra donc autant de fois plus grand que si on le regardoit à la distance de 8 pouces. Or, selon la règle établie ci-dessus, un microscope

grossit autant de fois, qu'il nous présente les objets plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces. Par conséquent un microscope grossit autant de fois, que la distance de foyer est plus petite que 8 pouces. Donc un verre, dont la distance de foyer est 1 pouce, grossit précisément 8 fois, & un verre dont la distance de foyer n'est qu'un demi-pouce grossira 16 fois. On divise un pouce en 12 parties qu'on nomme *lignes*, de sorte qu'un demi-pouce contient 6 lignes; de-là il sera aisé de dire combien de fois chaque verre, dont la distance de foyer est donnée en lignes, doit grossir, selon cette table.

Distance de foyer du verre en lignes

	12.	8.	6.	4.	3.	2.	1.	$\frac{1}{2}$ lignes
Grossit	8.	12.	16.	24.	32.	48.	96.	192 fois.

Ainsi un verre convexe, dont la distance de foyer est une ligne, grossit 96 fois; & si la distance est d'une demi-ligne, le microscope grossira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on vouloit des effets plus grands, il faudroit faire des verres dont le foyer fut encore plus petit. Or j'ai déjà remarqué que pour faire un verre d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égale à cette distance de foyer, de sorte que le verre devienne également convexe des deux côtés. Je vais donc exposer *Tab. VII. fig. 5.* aux yeux de V. A. les desseins de quelques-uns de ces verres, ou microscopes.

- I. La distance de foyer de ce verre A O est d'un pouce soit 12 lignes. Ce microscope grossit donc 8 fois.
- II. La distance de foyer du verre MN est de 8 lignes. Ce microscope grossit 12 fois.
- III. La distance de foyer du verre MN est de 6 lignes. Ce microscope grossit 16 fois.
- IV. La distance de foyer de ce verre est de 4 lignes. Ce microscope grossit 24 fois.
- V. La distance de foyer de ce verre est de 3 lignes. Ce microscope grossit 32 fois.
- VI. La distance de foyer de ce verre est de 2 lignes. Ce microscope grossit 48 fois.
- VII. La distance de foyer de ce verre n'est que d'une ligne. Ce microscope grossit 96 fois.

On peut faire des microscopes beaucoup plus petits encore. Les artistes en exécutent, & nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus considérables, par où il faut bien remarquer, que la distance de l'objet au verre devient de plus en plus petite, puisqu'elle doit être à-peu-près égale à la distance de foyer du verre. Je dis à-peu-près, parceque chaque œil y approche le verre tant soit peu plus ou moins selon sa constitution; les miopes l'approchent davantage, & les presbites moins. V. A. voit donc, que plus l'effet est grand, plus le verre ou le microscope devient petit, & plus aussi il faut approcher l'objet: ce qui est un très-grand inconvénient, puisque d'un côté il est incommode de regarder à travers un si petit verre, & d'un autre parceque l'objet doit être fixé si

près de l'œil. On tâche de remédier à ces inconvéniens par une garniture convenable, qui en facilite l'usage, mais la vision de l'objet se trouble considérablement, dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement, & comme dans les plus petits verres l'objet doit presque les toucher, dès que la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne le voit que confusément. Car quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités sont trop éloignées & ne sauroient être vues que très-confusément. C'est ce qui nous oblige à renoncer aux microscopes simples quand on en souhaite qui grossissent beaucoup, & de recourir aux microscopes composés.

le 26 Janvier 1762.

LETTRE CCII.

V. A. vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter, on n'a qu'à fixer une ligne droite de 8 pouces, comme celle que j'ai marqué AB * *Tab. VII. fig. 6.* qui contienne précisément 8 pouces du pied du Rhin dont on se sert par-tout en Allemagne. Alors, autant de fois que l'on veut gros-

* Dans l'impossibilité de représenter ici une ligne droite, de huit pouces, on en a mis une de quatre.

fir l'objet, il faut partager cette ligne AB en autant de parties égales, dont une donnera la distance de foyer du verre demandé. Ainsi; si l'on veut grossir cent fois, la particule AI est la centième partie de la ligne AB, par conséquent il faut faire un verre, dont la distance de foyer soit précisément égale à cette partie AI, qui donnera en même tems le rayon des faces du verre qui est représenté art. VII. de la figure ci-dessus.

V. A. voit par-là, que plus l'effet est grand, plus le verre doit être petit, de même que la distance de foyer à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre, en appliquant l'œil par derrière; & si l'on faisoit le verre deux fois plus petit que je ne l'ai désigné, pour grossir deux cent fois, il deviendrait si petit, qu'il faudroit presque un microscope pour voir le verre lui-même; aussi faudroit-il s'approcher si près qu'on toucheroit presque le verre, ce qui est un très-grand inconvénient, comme j'ai déjà eu l'honneur de l'observer: de sorte qu'on ne sauroit presque pousser l'effet du microscope au-delà de deux cent fois; ce qui ne suffit pas pour voir les plus petites choses que renferme la nature. L'eau la plus claire contient de petits animalcules, qui, quoiqu'on les voye grossis 200 fois, ne laissent pas de paroître comme des puces, & il faudroit des microscopes qui grossissent 20000 fois pour les voir de la grandeur d'un rat, & il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce degré, même avec les microscopes composés.

Mais outre les inconvéniens des microscopes simples que je viens de remarquer, tous ceux qui se servent de ces instrumens, se plaignent, quand ils en exigent de très-grands effets, d'un autre qui n'est pas moins fâcheux, c'est que plus on grossit les objets plus ils paroissent obscurs; il semble qu'on les voit à la lueur d'une lumière très-foible, ou même au clair de la lune, desorte qu'on ne sauroit presque rien y distinguer. V. A. n'en fera pas surprise, lorsqu'elle voudra se souvenir, que la lumière de la pleine lune est au-delà de deux cent mille fois plus foible que celle du soleil. Il est donc bien important d'expliquer d'où vient cette diminution de lumière; on comprend aisément que, si les rayons qui viennent d'un très-petit objet, doivent nous le représenter comme s'il étoit beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumière ne sauroit être suffisante: cependant, quelque fondée que paroisse cette raison, elle n'est pas valable, & ne fait que nous éblouir sur cette question. Car si le verre, en grossissant davantage, entraîne après lui nécessairement une diminution de clarté, on devroit aussi s'en appercevoir dans les moindres effets, à supposer même que ce ne fut pas à un si haut degré; mais on peut grossir jusqu'à 50 fois, sans appercevoir la moindre diminution de lumière, qui cependant devroit être 50 fois plus foible, si la raison alléguée étoit juste. Il faut donc chercher ailleurs la cause de ce phénomène

nomène & il faut même remonter aux premiers principes de la vision.

Je prie, à cette occasion, V. A. de se rappeler ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur l'usage de la pupille, soit de ce trou noir, qu'on voit dans l'œil sur le milieu de l'iris. C'est par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux; ainsi, plus cette ouverture est grande, plus il entre de rayons. Il faut considérer ici deux cas où les objets sont fort lumineux & brillans, & où ils ne sont éclairés que d'une lumière fort foible. Dans le premier la pupille se contracte elle-même, sans que notre volonté le commande, & le Créateur la pourvût de cette faculté, pour préserver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lumière, qui blefferoit infailliblement les nerfs. Toutes les fois donc qu'on se trouve dans un lieu fort éclairé, on voit que toutes les pupilles se rétrécissent, pour ne laisser entrer dans les yeux, qu'autant de rayons qu'il en faut pour y dépeindre une image assez lumineuse. Mais il arrive le contraire lorsqu'on se trouve dans un lieu sombre, la pupille s'agrandit alors pour recevoir la lumière en plus grande quantité. Il est fort aisé de remarquer ce changement, toutes les fois qu'on passe d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé. Pour le sujet dont il s'agit ici, je me borne à cette circonstance, que plus il entre de rayons dans l'œil, plus l'image portée sur la rétine sera lumineuse; & réciproquement, plus la quantité de

rayons qui entrent dans l'œil, est petite, plus l'image y devient foible, & paroît par conséquent plus obscure. Il peut arriver qu'il n'entre que fort peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille soit bien ouverte, on n'a qu'à faire un petit trou avec une épingle dans une carte, & regarder quelque objet; alors, quelque éclairé qu'il soit du soleil, il paroîtra d'autant plus sombre que le trou est plus petit, on peut même regarder le soleil à travers. La raison en est bien évidente, puisqu'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons: quelque ouverte que soit la pupille, c'est le trou du carton qui détermine la quantité de lumière qui entre dans l'œil, & non la pupille, qui fait ordinairement cette fonction.

Il arrive la même chose *Tab. VII. fig. 8.* dans les microscopes qui grossissent beaucoup, car lorsque le verre est extrêmement petit, il n'y passe qu'une fort petite quantité de rayons comme *mn*, qui étant plus petite que l'ouverture de la pupille, fait paroître l'objet d'autant plus obscur; on voit par-là que cette diminution de lumière n'a lieu, que lorsque le verre *MN*, ou plutôt sa partie ouverte, est plus petite que la pupille. S'il étoit possible de produire un grand grossissement par le moyen d'un verre plus grand, cet obscurcissement n'auroit pas lieu, & c'est la véritable explication de la question. Pour remédier à cet inconvénient, dans les grands effets du microscope, on tâche d'éclairer l'objet autant qu'il est possible, pour

rendre plus fort le peu de rayons qui est porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le soleil même, & on se sert aussi de miroirs qui y renvoyent la clarté du soleil. Ce sont à-peu-près toutes les circonstances à considérer dans les microscopes simples, & V. A. jugera aisément par-là de l'effet de tous ceux qu'elle aura occasion de voir.

le 30 Janvier 1762.

LETTRE CCIII.

AVANT que d'expliquer la construction des microscopes composés, j'espère qu'une digression sur les lunettes soit télescopes ne déplaira point à V. A. Ces deux espèces d'instrumens sont parfaitement liés ensemble: l'un sert à mieux éclaircir l'autre. Comme les microscopes servent à considérer les objets voisins, en nous les représentant sous un angle beaucoup plus grand que si nous les regardions à une certaine distance, comme de 8 pouces, l'autre espèce est destinée à nous découvrir mieux les objets fort éloignés, en nous les représentant sous un angle plus grand qu'à la vue simple. Ces instrumens portent plusieurs noms, tant selon leur grosseur, que selon leur destination; les plus petits sont nommés lunettes de poche, d'autres plus grandes ont le même nom, qu'il

faut bien distinguer des lunettes , que les vieillards portent sur le nez. Ceux dont se servent les astronomes , sont nommés tubes ; or le nom général de tous est celui de télescope. Ce sont donc ces instrumens qui nous représentent les objets fort éloignés , sous un plus grand angle qu'ils ne paroissent à la vue simple ; cette définition est très-juste & ne renferme rien d'arbitraire , comme celle des microscopes , dont l'effet est rapporté arbitrairement à une certaine distance , qu'on suppose communément de 8 pouces.

Mais lorsqu'il s'agit d'objets fort éloignés , dont la distance est trop grande pour notre vue , l'effet se rapporte très-naturellement à la même distance , & un télescope grossit autant de fois , qu'il nous représente les objets sous un angle plus grand qu'à la vue simple. Par exemple , la lune paroît à la vue simple sous un angle d'un demi-dégré ; par conséquent un télescope grossit 100 fois , lorsqu'il nous représente la lune sous un angle de 50 degrés , qui est 100 fois plus grand qu'un demi-dégré : s'il grossissoit 200 fois , il feroit voir la lune sous un angle de 100° ; & la lune paroîtroit alors remplir plus de la moitié du ciel visible , dont toute l'étendue n'est que de 180 degrés.

On dit communément que les télescopes nous approchent les objets , ce qui est une manière de parler fort équivoque , qui admet deux significations différentes. L'une , que voyant par un télescope , nous jugeons les objets au-

tant de fois plus proches de nous, qu'il les grossit. Mais j'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer à V. A. que nous ne saurions connoître les distances des objets; que par le jugement, & que ce jugement ne sauroit avoir lieu que dans les objets peu éloignés; donc, lorsqu'ils le font autant que nous le supposons ici, ce jugement sur les distances tromperoit beaucoup. L'autre signification, par laquelle on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage, est plus conforme à la vérité. V. A. fait que, plus on s'approche d'un objet, plus l'angle sous lequel il paroît, devient grand; ainsi, cette explication revient à celle que j'ai donné au commencement. Cependant, lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloignement, & qu'on les voit par une lunette sous un angle beaucoup plus grand, on est porté à s'imaginer que ces hommes sont beaucoup plus proches, puisqu'alors on les verroit effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme le soleil & la lune, aucune estime de distance ne peut avoir lieu. Ce cas est tout-à-fait différent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A. où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte, représente les images des objets à une fort petite distance: le verre concave, par exemple, dont je me fers, me représente les images de

tous les objets éloignés , à la distance de 4 pouces ; cependant je ne m'imagine point que le soleil , la lune & les étoiles soient si près de moi ; ainsi nous ne jugeons point que les objets soient où leurs images se trouvent représentées par les verres : nous le croyons aussi peu que l'existence des objets dans nos yeux , quoique leurs images y soient dépeintes : & V. A. se souviendra bien , que le jugement sur la véritable distance des objets , & sur leur véritable grandeur , dépend de circonstances toutes particulières.

Le but principal des télescopes est donc de grossir ou de multiplier l'angle sous lequel les objets paroissent à la vue simple ; & la division principale des télescopes se calcule selon l'effet qu'ils procurent ; de sorte qu'on dit que tel télescope grossit 5 fois , un autre 10 , un autre 20 ou 30 & ainsi de suite. Je remarque à cet égard que les lunettes de poche grossissent rarement au-delà de 10 fois ; mais les lunettes ordinaires , dont on se sert pour examiner les objets terrestres fort éloignés , grossissent depuis 20 jusqu'à 30 fois & leur longueur monte jusqu'à 6 pieds & au-delà. Un effet pareil , quoique très-considérable par rapport aux objets terrestres , est encore peu de chose pour les corps célestes , qui demandent un effet beaucoup plus grand. C'est pourquoi on a des lunettes astronomiques ou des tubes , qui grossissent depuis 50 jusqu'à 200 fois , & il paroît difficile d'aller plus loin , puisque , selon la ma-

nière ordinaire de les construire, plus l'effet est grand, plus elles deviennent longues. Une lunette qui doit grossir 100 fois a déjà 30 pieds de longueur, & une de 100 pieds peut à peine grossir 200 fois. V. A. doit donc comprendre que la difficulté de diriger & de manier de telles machines, met des obstacles insurmontables à pousser l'expérience plus loin. Le fameux Hévelius, astronome de Dantzic, se servoit de tubes de 200 pieds, mais ces instrumens étoient sans-doute fort défectueux, puisqu'on découvre les mêmes choses aujourd'hui avec de beaucoup plus courts.

Telle est en gros la description des télescopes & de leurs diverses espèces, qu'il est bon de bien remarquer, avant que d'entrer dans le détail de leur construction, & de la manière dont on joint deux ou plusieurs verres, pour produire tous les différens effets.

le 2 Février 1762.

LETTRE CCIV.

ON ne fait pas trop à qui nous sommes redevables de la découverte des télescopes; si c'est à un artisan Hollandois, ou à un Italien nommé Porta. Quoiqu'il en soit, il y a près de 150 ans qu'on a commencé à faire de petites lunettes de poche, composées de deux

verres, dont l'un étoit convexe & l'autre concave. Il semble que c'est au hasard seul que l'on soit redevable d'une découverte si utile. On a pu, sans aucun dessein, rapprocher ou éloigner deux verres, jusqu'à ce que les objets ont paru distinctement.

Le verre convexe PAP *Tab. VII. fig. 9.* est dirigé vers l'objet, & c'est au verre concave QBQ qu'on applique l'œil; c'est pourquoi le verre PAP est nommé l'objectif & le verre QBQ l'oculaire. Ces deux verres sont disposés sur le même axe AB , perpendiculaire sur l'un & l'autre verre, & qui passe par le milieu. La distance de foyer du verre convexe PAP doit être plus grande que celle du verre concave, & les verres doivent être disposés de manière que, si AF est la distance du foyer de l'objectif PAP , le foyer de l'oculaire QBQ tombe dans le même point F , ainsi, l'intervalle entre les verres AB , est la différence entre les distances de foyer des deux verres; AF étant la distance de foyer de l'objectif & BF celle de l'oculaire. Quand les verres sont placés, ceux qui ont la vue bonne, verront fort bien les objets éloignés, qui leur paroîtront autant de fois plus grands, que la ligne AF est plus grande que BF . Ainsi, prenant la distance de foyer de l'objectif de 6 pouces, & celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets seront grossis 6 fois, ou paroîtront sous un angle six fois plus grand qu'à la vue simple, & dans ce cas, l'intervalle entre les ver-

res AB fera de 5 pouces, ce qui est en même tems la longueur de la lunette. V. A. sent bien, sans que je le lui dise, que ces deux verres sont enchassés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aye pas exprimé dans la figure.

Après avoir exposé de quelle manière les deux verres doivent être joints ensemble, pour qu'il en résulte un bon instrument, il y a deux choses que je dois faire remarquer à V. A.; l'une, pourquoi ces verres nous représentent distinctement les objets, & l'autre pourquoi ils paroissent grossis autant de fois, que la ligne AF surpasse la ligne BF. Par rapport à la première, il faut remarquer, qu'une bonne vue voit mieux les objets, lorsqu'ils sont si éloignés qu'on puisse regarder les rayons qui tombent dans l'œil, comme parallèles entr'eux.

Considérons donc *Tab. VII. fig. 10.* un point V dans l'objet vers lequel est dirigé la lunette, & puisqu'on le suppose fort éloigné, les rayons qui tombent sur l'objectif PQ, OAPQ feront presque parallèles entr'eux; ainsi, l'objectif QAQ étant un verre convexe, le réunira dans son foyer F, desorte que ces rayons étant convergens ne conviendroient point à une bonne vue. Or le verre concave en B, ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergens, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons QR & QR, enforte qu'ils deviendront parallèles entr'eux,

ou bien, au lieu de se réunir en F, ils prendront la route RS, RS parallèle à l'axe BF; ainsi, une bonne vue, sur laquelle on se règle toujours dans la construction de ces instrumens, en recevant ces rayons parallèles RS, BF, RS, verra distinctement l'objet. Les rayons RS, RS deviennent précisément parallèles entr'eux, parceque le verre concave a son foyer, ou plutôt son point de dispersion, en F.

V. A. doit se souvenir que, lorsque les rayons parallèles tombent sur un verre concave, ils deviennent divergens par la réfraction, en sorte qu'étant continués en arrière, ils se rendent dans le foyer. Cela posé, nous n'avons qu'à renverser le cas, & regarder les rayons SR, SR, comme incidens sur le verre concave, alors il est certain qu'ils prendront les routes RQ RQ, qui, continuées en arrière, se rendent au point F, où est le foyer commun des verres convexe & concave. Maintenant c'est une loi générale que, de quelque manière que les rayons soient rompus, en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours souffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Si donc les rayons réfractés RQ, RQ, répondent aux rayons incidens SR, SR; alors, réciproquement, si les rayons QR, QR sont les incidens, les réfractés seront RS & RS.

La chose deviendra peut-être plus claire encore quand je dirai, que les verres conca-

ves ont le pouvoir de rendre paralleles ces rayons qui, sans la réfraction, se rendoient dans leurs foyers. Ou bien V. A. n'a qu'à bien saisir les règles suivantes sur la réfraction, tant des verres convêxes que concaves.

I. Par un verre convêxe *Tab. VII. fig. II.* les rayons paralleles deviennent convergens.

Les convergens deviennent encore plus convergens, *Tab. VIII. fig. I.*

Or les divergens deviennent moins divergens.

II. Par un verre concave les rayons paralleles deviennent divergens *Tab. VIII. fig. 2.*

Les divergens deviennent encore plus divergens *Tab. VIII. fig. 3.*

Or les convergens deviennent moins convergens.

Tout cela est fondé sur la nature de la réfraction & de la figure des verres, dont le détail demanderoit des discussions trop longues, & outre cela, les deux règles que je viens de rapporter en renferment l'essentiel. Il est donc suffisamment prouvé que, lorsque le verre convêxe & le verre concave sont joints de façon qu'ils acquièrent un foyer commun en F, les objets éloignés en seront représentés distinctement, puisque le parallelisme entre les rayons est rétabli par le verre concave, après que le verre convêxe les a rendus convergens. Ou bien, les rayons des objets fort éloignés étant presque paralleles entr'eux, deviennent convergens par les verres convêxes,

& ensuite le verre concave détruit cette convergence, & rend les rayons de nouveau parallèles entr'eux.

le 6 Février 1762.

LETTRE CCV.

IL me reste encore à faire voir à V. A. l'article principal sur les lunettes ; c'est celui qui regarde leur effet, en grossissant les objets. J'espère de le mettre dans un tel jour, que toute espèce de doute sera dissipé : pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propositions suivantes.

- I. Soit Ee l'objet situé sur l'axe de la lunette *Tab. VIII. fig. 4.* qui traverse les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Or il faut considérer cet objet Ee comme infiniment éloigné.
- II. Si donc l'œil placé en A regarde cet objet, il le verra sous l'angle $E Ae$, nommé son angle visuel. Ainsi il faut prouver, qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paroîtra sous un plus grand angle, & exactement autant de fois plus grand que la distance de foyer du verre objectif PAP surpasse celle de l'oculaire QBQ .
- III. Comme l'effet de tous les verres consiste

à représenter les objets dans un autre lieu , & avec une certaine grandeur , nous n'avons qu'à examiner les images , qui seront successivement représentées par les deux verres , dont la dernière est l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or l'objet Ee étant infiniment éloigné du verre convexe PAP , son image sera représentée derrière le verre en Ff , desorte que AF soit égal à la distance de foyer du verre ; & la grandeur de cette image Ff est déterminée par la ligne droite fAe tirée de l'extrémité de l'objet e par le milieu du verre A , par où l'on voit que cette image est renversée , & autant de fois plus petite que l'objet , que la distance AF est plus petite que la distance AE .

V. Maintenant cette image Ff tient lieu de l'objet , par rapport au verre oculaire QBQ : puisque les rayons qui tombent sur ce verre sont ceux mêmes qui voudroient presque former l'image Ff , mais sont interceptés dans leur route par le verre concave QBQ : desorte que cette image n'est qu'imaginaire ; l'effet est cependant le même que si elle étoit réelle.

VI. Cette image Ff , que nous regardons à présent comme un objet , se trouvant à la distance de foyer du verre QBQ , sera transportée presque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque

cette nouvelle image en Gg , dont la distance AG doit être conçue comme infinie, & les rayons réfractés pour la seconde fois par le verre QBQ , tiendront la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image Gg .

VII. Cette seconde image Gg étant donc l'objet de celui qui regarde par la lunette, on en doit considérer la grandeur. Pour cet effet, puisqu'elle naît de la première image Ff par la réfraction du verre QBQ , suivant la règle générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B une ligne droite, qui passe par f de la première image, & la ligne marquera en g l'extrémité de la seconde image.

VIII. Que le spectateur tienne à présent son oeil en B ; & puisque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image Gg , elle lui paroîtra sous l'angle GBg , qui est visiblement plus grand que l'angle $E Ae$, sous lequel l'objet $E e$ paroît à la vue simple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il est d'abord clair que l'angle $E Ae$ est égal à l'angle FAf qui lui est opposé par la pointe; de la même manière l'angle GBg est égal à l'angle FBf , puisqu'ils sont opposés par la pointe en B . Il s'agit donc de prouver que l'angle FBf surpasse l'angle FAf , autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF , dont celle-là AF est la distance de fo-

yer de l'objectif, & celle-ci BF la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géométrie sur la nature des secteurs. V. A. se fouviendra qu'un secteur est une partie de cercle, renfermée entre deux rayons. CM & CN, est un arc ou portion de la circonférence MN. Ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer, 1°. le rayon du cercle CM ou CN ; 2°. la quantité de l'arc MN ; & 3°. l'angle MCN.

XI. Considérons maintenant *Tab. VIII. fig. 5.* deux secteurs MCN & *mcn* dont les rayons CM & *cm* soient égaux entr'eux, & il est prouvé dans les élémens de géométrie, que les angles C & *c* tiennent entr'eux le même rapport ; que les arcs MN & *mn*, ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc MN est plus grand que l'arc *mn* : mais au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci, les angles C & *c* sont proportionnels aux arcs MN & *mn*, lorsque les rayons sont égaux.

XII. Considérons aussi *Tab. VIII. fig. 6.* deux secteurs MCN & *mcn*, dont les angles C & *c* soient égaux entr'eux, mais les rayons inégaux ; & il est prouvé dans la géométrie, que l'arc MN est autant de fois plus grand que l'arc *mn*, que le rayon CM est plus grand que *cm* ; ou bien on dit, que les arcs sont proportionels aux rayons, lorsque les

angles font égaux. La raison en est évidente, puisque chaque arc contient autant de degrés que son angle, & que les degrés d'un grand cercle, font plus grands que ceux d'un petit, autant de fois que le grand rayon surpasse le petit.

XIII. Considérons enfin aussi le cas, *Tab. VIII. fig. 7.* où dans les deux secteurs MCN & *mcn* les arcs font égaux entr'eux savoir $MN = mn$ & les rayons CM & *cm* inégaux.

Alors l'angle C qui répond au grand rayon CM est plus petit, & l'angle *c* qui répond au petit rayon *cm* plus grand, & cela dans le même rapport que les rayons. Ou bien l'angle *c* est autant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon CM est plus grand que le rayon *cm* : ou bien, pour parler en géomètre, les angles font réciproquement proportionels aux rayons, lorsque les arcs font égaux.

XIV. Cette dernière considération me conduira à mon but, en y ajoutant cette réflexion, que lorsque les angles font fort petits comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs MN & *mn* ne difèrent pas sensiblement de leurs cordes, ou des lignes droites MN & *mn*.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig. 4. Tab. VIII.*; les triangles F Af & FBf peuvent être considérés comme des secteurs, où l'arc Ff est le même de part & d'autre.

Par

Par conséquent l'angle FBf surpasse autant de fois l'angle FAf que la distance AF surpasse la distance BF . Ou bien l'objet E paroîtra dans la lunette sous un angle autant de fois plus grand, que la distance de foyer de l'objectif AF , surpasse la distance de foyer de l'oculaire BF , ce qu'il falloit démontrer.

le 9 Fevrier 1762.

LETTRE CCVI.

V. A. comprend aisément qu'on ne sauroit prétendre de trop grands avantages de ces petites lunettes, & j'ai déjà remarqué qu'elles ne grossissent les objets que de 10 fois. Si on vouloit pousser leur force plus loin, non-seulement la longueur en deviendrait trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y auroit encore d'autres défauts plus essentiels, auxquels elles seroient sujettes; ce qui a obligé les artistes de renoncer tout-à-fait à cette espèce de lunettes, dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts consiste dans la petitesse du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à V. A. cet article important qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un télescope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés sur la ter-

re, l'espace qu'on découvre paroît sous la figure d'un cercle, & on ne voit que les objets qui se trouvent dans cet espace; desorte que si l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la position de l'instrument. Cet espace circulaire, qui se présente aux spectateurs, est nommé le *champ apparent*, ou simplement le champ de l'instrument: & V. A. conviendra aisément, que c'est un grand avantage, lorsque ce champ est fort grand, & qu'un très-petit champ est au contraire un grand défaut dans ces sortes d'instrumens. Considérons deux lunettes, qu'on ait dirigées vers la lune, & que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit toute entière avec les étoiles voisines; le champ de celle-ci est donc beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui présente un plus grand champ nous dispense, non-seulement de l'embarras de changer si souvent de position, mais fait jouir d'un avantage très-grand, celui de pouvoir comparer, en les voyant en même tems, plusieurs parties de l'objet entr'elles.

C'est donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un télescope lorsqu'il donne un plus grand champ; il est donc très-intéressant de mesurer le champ de tous ces instrumens. Dans cette vue on se règle sur le ciel, & on détermine l'espace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en mesurant le diamètre en degrés & minutes; ainsi, comme le diamètre apparent de la pleine lune est environ

d'un demi degré, si une lunette ou un télescope ne découvre que la lune, on dit que le diamètre de son champ est d'un demi degré: si l'on ne voyoit à la fois que le quart de la lune, le diamètre du champ feroit un quart de degré.

La mesure des angles nous fournit donc le moyen de mesurer le champ apparent, & la chose est d'ailleurs claire d'elle-même. Supposons dans la *fig. 8. Tab. VIII.* qu'on ne voye par l'instrument *AB* que l'espace *POP*, & les objets qui y sont contenus. Cet espace étant un cercle, son diamètre fera sur la ligne *POP* dont le milieu *O* se trouve dans l'axe de l'instrument. Tirant donc des extrémités *P P* les lignes droites *PC, PC*, l'angle *PCP* exprime le diamètre du champ apparent & la moitié de cet angle *OC P*, est nommée le demi-diamètre du champ apparent. *V. A.* comprendra donc parfaitement ce qu'on doit entendre, lorsqu'on dit que le diamètre du champ apparent d'un tel instrument est d'un degré, que celui d'un autre est de 2 degrés &c. ou bien en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui font un demi degré, ou de 15 minutes, qui font un quart de degré.

Mais pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un télescope, par rapport au champ apparent, il faut aussi avoir égard au grossissement de l'instrument, où cette maxime a généralement lieu, que plus un télescope ou une lunette grossit, plus le champ apparent doit nécessairement être petit; ce sont des bornes que

la nature même prescrit. Concevons un instrument semblable qui grossit 100 fois ; il est évident que le diamètre du champ ne sauroit être que de 2 degrés : car puisque cet espace nous paroîtroit 100 fois plus grand , il ressembleroit à un espace de 200 degrés , & plus grand par conséquent que le ciel entier qui , d'un bout à l'autre , ne contient que 180 degrés , & dont nous ne saurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus , ou bien un espace circulaire de 90 degrés en diamètre : par-là V. A. voit qu'un télescope qui grossit 100 fois , ne sauroit même nous découvrir un champ d'un degré : vu que ce degré multiplié 100 fois feroit plus que 90 degrés , & qu'ainsi une lunette qui grossit 100 fois , feroit excellente si le diamètre de son champ étoit d'un peu moins que d'un degré : & la nature même de l'instrument ne souffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette soit télescope , qui ne grossiroit que 10 fois , feroit bien défectueux s'il ne découvroit qu'un champ d'un degré en diamètre ; puisque ce champ multiplié 10 fois , ne ressembleroit qu'à un espace de 10 degrés dans le ciel , ce qui feroit bien peu de chose , & borneroit trop notre vue : nous aurions bien raison de rejeter tout-à-fait cet instrument ; il sera donc fort aisé , par rapport au champ apparent , de juger de l'excellence ou du défaut de ces sortes d'instrumens , quand on a égard à leur effet. Ainsi , lorsqu'il ne grossit que 10 fois , on peut bien conjecturer , qu'il découvre

un champ de 9 degrés, puisque 9 degrés pris 10 fois font 90 degrés, que notre vue est capable d'embrasser, & si le diamètre de son champ n'étoit que de 5 degrés ou encore plus petit, ce seroit toujours un instrument fort défectueux. J'aurai l'honneur de prouver à V. A. que si l'on vouloit faire des lunettes de l'espèce dont j'ai donné la description, qui grossiroient plus de 10 fois, elles auroient ce défaut, leur champ apparent multiplié par le grossissement seroit fort au-dessous de 90 degrés, & ne montreroit pas même la moitié. Mais pour de moindres effets, ce défaut n'est pas si sensible, car si une telle lunette ne grossit que 5 fois, le diamètre de son champ est environ de 4 degrés qui grossi 5 fois, ressemble à un espace de 20 degrés, dont on veut bien être content: mais si l'on vouloit grossir 25 fois, le diamètre du champ ne seroit que d'un demi degré, qui pris 25 fois, ne donneroit que 12 degrés, ce qui seroit trop peu. C'est pourquoi, quand on veut grossir beaucoup, il faut se servir d'autres arrangemens de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la suite.

le 13 Fevrier 1762.

L E T T R E C C V I I .

LE jugement sur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la construction des télescopes & des lunettes, j'en vais faire l'application aux petites lunettes sur lesquelles j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir V. A.

Dans *fig. 4. Tab. VIII.* le verre PAP est l'objectif, QPQ l'oculaire & la droite EF l'axe de la lunette, sur lequel à une distance très-grande se trouve l'objet Ee, vu par l'instrument sous l'angle E Ae qui représente le demi-diamètre du champ apparent, puisqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E est donc le centre de l'espace vu par la lunette, dont le rayon EA, puisqu'il traverse perpendiculairement les deux verres, ne souffre aucune réfraction; & ainsi pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part sur l'axe de la lunette BF, derrière l'oculaire, en sorte que le centre de la prunelle se trouve dans la ligne BF, ce qui est une règle générale pour toutes les lunettes. Considérons à présent l'extrémité visible de l'objet e, dont les rayons remplissent exactement toute l'ouverture du verre objectif PAP, mais il suffira de n'en considérer que le rayon EA, qui passe par le milieu de l'objectif A, puisque les autres rayons l'entourent & ne font presque que renforcer ce rayon, de sorte que s'il entre dans l'œil,

les autres , ou au moins une bonne partie y entrent aussi, & si ce rayon n'entre point dans l'œil, quoique peut-être quelques-uns des autres y entrent, ils sont trop foibles pour exciter dans l'œil une impression assez vive. Et ainsi nous pourrons fixer cette règle, que l'extrémité e de l'objet n'est vüe, qu'entant que le rayon eA , après avoir passé les deux verres, entre dans l'œil.

Tout bien considéré, il faut donc examiner avec soin la route de ce rayon eA . Or puisque ce rayon passe par le milieu de l'objectif A , il n'y souffre aucune réfraction; conformément à la règle établie au commencement, que les rayons qui passent par le milieu d'un verre quelconque, ne sont pas détournés de leur route, ou ne souffrent point de réfraction. Donc ce rayon eA après avoir passé par l'objectif, continueroit la même route pour se réunir avec les autres rayons sortis du même point e , au point f de l'image représentée par l'objectif en Ff , le point f étant l'image du point e de l'objet: mais le rayon rencontrant en m le verre concave hors de son milieu, sera détourné de cette route & au lieu d'aboutir en f il prendra sa route en mn plus divergent de l'axe BF , comme c'est l'effet naturel des verres concaves de rendre les rayons toujours plus divergens. Pour connoître cette nouvelle route mn , que V. A. veuille bien se souvenir, que le verre objectif représente l'objet Ee dans une situation renversée en Ff , desorte que AF est égale à la dis-

tance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet Ee en Ff . Alors cette image Ff tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire QBQ , qui, à son tour, le transporte de nouveau en Gg , dont la distance BG doit être aussi grande que celle de l'objet même; & pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire de sorte que l'intervalle BF soit égal à la distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la première Ff est déterminée par la droite eAf , tirée de e par le milieu A du premier verre; & l'autre Gg par la droite fBg , tirée du point f par le milieu B du second verre. Cela marqué, le rayon Am dirigé vers le point f est réfracté & sort en mn : & cette ligne mn étant continuée en arrière, passe par le point g , puisque ce rayon mn produit dans l'œil le même effet que s'il venoit effectivement du point g . Maintenant, comme cette ligne mn s'éloigne de plus en plus de l'axe BF , où le centre de la pupille se trouve, le rayon mn ne sauroit entrer dans l'œil, qu'entant que l'ouverture de la pupille s'étend jusques-là; & si l'ouverture de la pupille étoit réduite en rien, le rayon mn seroit exclus de l'œil, & ainsi le point e de l'objet ne sauroit être vu de l'œil, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe AE : il n'y auroit donc point de champ apparent, & l'œil ne verroit par cette lunette que le seul point E de l'objet, qui se trouve dans son axe. Il est donc clair que cette espèce de lunette ne découvre

un champ, qu'autant que la pupille est ouverte, enforte que, plus l'ouverture de la pupille est grande ou petite, plus aussi le champ apparent sera grand ou petit. Dans ce cas, le point e fera donc encore visible à l'œil, si le petit intervalle Bm n'excède point la demi-largeur de la pupille, ou bien son demi-diamètre, afin que le rayon mn puisse y entrer; mais aussi dans ce cas, il faut approcher l'œil du verre oculaire autant qu'on le peut: car puisque le rayon mn s'éloigne de l'axe FB , il échapperoit à la pupille, dans un plus grand éloignement.

Maintenant il est aisé de déterminer le champ apparent que ces lunettes nous découvrent sur le verre oculaire: on n'a qu'à prendre l'intervalle Bm égal à la demi-largeur de la pupille, & tirer par ce point m & le milieu du verre objectif A la ligne droite mAe , alors cette ligne marquera sur l'objet l'extrémité e qui sera encore visible par la lunette, & l'angle $E Ae$ donnera le demi-diamètre du champ apparent. Par-là V. A. jugera aisément que, dès que la distance des verres AB surpasse de quelques pouces, l'angle BAm doit devenir très-petit, puisque la ligne ou distance Bm n'est qu'environ la vingtième partie d'un pouce. Or si l'on vouloit grossir beaucoup, il faudroit que la distance des verres devint très - considérable, & il en résulteroit que le champ apparent deviendroit infiniment petit. C'est donc la nature des yeux qui met des bornes à cette espèce de lu-

nettes, & qui nous oblige de recourir à d'autres espèces, dès qu'on souhaite des effets considérables.

le 16 Février 1762.

LET TRE CCVIII.

EN passant à la seconde espèce de lunettes, qu'on appelle lunettes astronomiques, & quelquefois tubes, je remarque que ces instrumens ne sont composés que de deux verres, comme ceux de la première espèce; mais ici, au lieu de l'oculaire concave, on se sert d'un convexe. Je commencerai donc à donner à V. A. une idée de la construction de ces lunettes astronomiques.

L'objectif P A P dans la *fig. 9. Tab. VIII.* est comme dans les autres, un verre convexe, dont le foyer étant en F, on fixe sur le même axe un plus petit verre convexe Q Q, desorte que son foyer tombe dans le même point F. Tenant alors l'œil en O, desorte que la distance B O soit à-peu-près égale à la distance de foyer de l'oculaire Q Q, on verra les objets distinctement, & grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif A F surpassera celle de l'oculaire B F; mais ce qu'il y a à remarquer, c'est que tous les objets paroissent dans une situation renversée, desorte que si l'on dirige ces tubes vers les maisons, on voit les toits en bas,

& le pavé en haut. Comme cette circonstance n'est point agréable pour les objets terrestres, que nous ne saurions voir renversés, l'usage de ces instrumens est borné aux objets célestes, qu'il nous est fort indifférent de voir dans un sens ou dans un autre; il suffit à l'astronome de savoir que ce qu'il voit en haut se trouve réellement en bas, & réciproquement. Cependant, rien n'empêche qu'on ne se serve aussi de ces lunettes pour les objets terrestres, & on s'accoutume bientôt à voir les objets renversés, pourvu qu'ils paroissent distinctement, & fort grossis.

Après cette description, je dois prouver trois choses; la première, que par cet arrangement des verres, les objets doivent paroître distinctement; la seconde, qu'ils doivent paroître grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif surpasse celle de l'oculaire, & cela dans une situation renversée; la troisième enfin, qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la première espèce, mais qu'il l'en faut éloigner à-peu-près à la distance de foyer de l'oculaire.

1. Pour le premier article, la chose se prouve de la même manière que dans le premier cas: les rayons eP , eP , qui sont parallèles entr'eux avant que d'entrer dans le verre objectif, se réunissent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F , ainsi, il faut que le verre oculaire rétablisse le parallélisme entre ces rayons,

attendu que la vision distincte exige que les rayons, partis de chaque point, soient à-peu-près parallèles entr'eux, lorsqu'ils entrent dans l'œil. Or le verre oculaire, ayant son foyer en F , est placé de sorte qu'il rend les rayons FM , FM , par la réfraction, parallèles entr'eux; & conséquemment l'œil recevra les rayons No , No , parallèles entr'eux.

2. Pour le second article, considérons l'objet en Ee , *Tab. VIII. fig. 10.* mais en sorte que la distance EA soit presque infinie. L'image de cet objet représentée par le verre objectif sera donc Ff , située à la distance de foyer de ce verre AF , & déterminée par la droite eAf , tirée par le milieu du verre. Cette image Ff qui est renversée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire, & puisqu'elle se trouve dans son foyer, la seconde image sera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, & tombera par exemple en Gg , la distance AG devant être conçue comme infinie, de même que AE . Or pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer par le milieu B du verre, & l'extrémité f , la droite Bfg . Maintenant cette seconde image Gg étant l'objet immédiat de la vision de celui qui regarde dans la lunette, il est d'abord clair, que cette représentation est renversée; & puisqu'elle est infiniment éloignée, elle paroîtra sous un angle GBg . Mais l'objet lui-même Ee paroîtra à la vue simple sous l'angle $E Ae$, où *V. A.* comprend, sans que je l'avertisse, qu'il est indifé-

rent de prendre les points A & B, pour avoir les angles visuels $E A e$ & $G B g$, à cause de l'éloignement infini de l'objet. A présent V. A. voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles $F A f$ & $F B f$ peuvent être regardés comme des secteurs circulaires, la ligne $F f$ étant l'arc de l'un & de l'autre, puisque les angles mêmes sont si petits, qu'on ne se trompe pas sensiblement en prenant la corde pour les arcs. Puis donc que les rayons de ces deux secteurs sont les lignes $A E$ & $B F$, les arcs étant égaux entr'eux, il s'ensuit, de ce que j'ai prouvé ci-dessus fort amplement, que les angles $F A f$ (ou bien $E A e$) & $F B f$ (ou bien $G B g$) tiennent entr'eux le même rapport que les rayons $B F$ & $A F$. Donc l'angle $G B g$, sous lequel on voit l'objet par la lunette, est autant de fois plus grand que l'angle $E A e$ sous lequel on voit l'objet à la vue simple, autant de fois que la ligne $A F$ surpasse la ligne $B F$; & c'est la démonstration de mon second article. Je suis obligé de remettre celle du troisième à l'ordinaire prochain.

le 20 Fevrier 1762.

LETTRE CCIX.

POUR m'acquitter par rapport au troisième article, sur les lunettes astronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derrière la lunette, je

remarque que cet article est le plus étroitement lié avec le champ apparent, & que c'est précisément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué, de sorte que si on l'approchoit ou l'éloignoit davantage, on ne découvreroit plus un si grand champ.

L'étendue du champ étant un article si essentiel & si important pour toutes les lunettes, il est également important de bien fixer l'endroit de l'œil, d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquoit l'œil immédiatement au verre oculaire, on auroit à-peu-près, le même champ qu'on a dans les lorgnettes, & qui devient d'une petitesse insupportable, dès que le grossissement est considérable. C'est donc un grand avantage pour les lunettes astronomiques, qu'en éloignant l'œil du verre oculaire, le champ apparent augmente jusqu'à un certain point, & c'est précisément la raison qui rend ces lunettes susceptibles de plus grands grossissemens, pendant que celles de la première espèce ont été très-bornées à cet égard. V. A. a déjà appris qu'avec ces lunettes, on pousse le grossissement au-delà de 200 fois, ce qui leur donne une préférence infinie sur celles de la première espèce, qui pourroient à peine grossir 10 fois; & le petit inconvénient de la situation renversée doit s'évanouir tout-à-fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à V. A. cet important article aussi clairement qu'il me sera possible, & mes éclaircissemens précédens sur

le champ apparent, ne manqueront pas de m'être d'un très-grand secours.

1. L'objet E *Tab. VIII. fig. 11.* étant infiniment éloigné, soit e son extrémité encore visible par la lunette, dont les verres sont PAP & QBQ , disposés sur le commun axe $EABO$ & il s'agit de bien considérer la route que tiendra le seul rayon qui passe de l'extrémité de l'objet e par le milieu A du verre objectif. V. A. se souviendra encore que les autres rayons qui tombent du point e sur le verre objectif, ne font qu'accompagner & renforcer le rayon proposé eA , qui est le principal par rapport à la vision.

2. Or ce rayon eA passant par le milieu du verre PP ne souffrira aucune inflexion, mais continuera sa route en ligne droite AfM , & passant par l'extrémité de l'image Ff , atteindra l'oculaire au point M , où il est bon d'observer que, si la grandeur du verre oculaire ne s'étendoit point jusqu'à M , ce rayon ne parviendroit jamais à l'œil, & le point e seroit invisible. C'est-à-dire, il faudroit prendre l'extrémité e plus proche de l'axe, pour que le rayon AfM rencontrât encore le verre oculaire.

3. Maintenant ce rayon AM sera rompu, ou réfracté, par le verre oculaire, d'une manière qu'il n'est pas difficile de découvrir. Nous n'avons qu'à considérer la seconde image Gg , quoiqu'elle soit éloignée à l'infini, il suffit de savoir que la droite Bf prolongée,

passé par l'extrémité g de la seconde image Gg , qui est l'objet immédiat de la vue. Cela remarqué, il faut que le rayon rompu prenne la route NO qui étant prolongée passe par le point g .

4. Puis donc que les deux lignes ON & Bf concourent à l'infini en g , elles seront parallèles entr'elles, d'où nous tirons une méthode plus aisée pour déterminer la position du rayon rompu NO ; on n'a qu'à le tirer parallèle à la ligne Bf .

5. De-là il est très-évident que le rayon NO concourt quelque part avec l'axe de la lunette en O , & puisqu'ordinairement, lorsque le grossissement est grand, le point F est beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP , l'intervalle BM sera tant soit peu plus grand que l'image Ff ; & puisque la ligne NO est parallèle à fB , la ligne BO sera presque égale à BF , c'est-à-dire, à la distance de foyer du verre oculaire.

6. Si donc l'on tient l'œil en O , il recevra non-seulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E , mais aussi ceux qui viennent de l'extrémité e , & par conséquent aussi ceux qui partent de tous les points de l'objet, l'œil recevrait même à la fois les rayons BO & NO , quand même la pupille seroit infiniment rétrécie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil soit placé en O ; mais

mais dès qu'il s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point M n'étoit pas à l'extrémité du verre oculaire, il transmettroit des rayons encore plus éloignés de l'axe, ainsi la lunette découvreroit un plus grand champ. Donc pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir, qu'on tire du milieu A du verre objectif vers l'extrémité du verre oculaire M , la ligne droite AM , qui continuée à l'objet y marquera en e l'extrémité visible; conséquemment l'angle $E Ae$ ou bien BAM donne le demi-diamètre du champ apparent qui est par conséquent d'autant plus grand, que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la première espèce, le champ apparent dépendoit uniquement de l'ouverture de la pupille; ainsi, dans ce cas, il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire, ce qui met une différence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la dernière. La figure que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil & le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir davantage les précédens.

Quand $V. A.$ veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet $E e$ en $F f$, & que le verre oculaire le transporte de $F f$ en $G g$; cette image $G g$ étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une

grande distance pour voir ainsi; ce qui étoit le premier article.

Pour le second article il est d'abord évident que, puisqu'au lieu du vrai objet Ee on voit par la lunette l'image Gg , elle sera renversée. Ensuite cette image est vue de l'œil placé en O sous l'angle $G\hat{O}g$, ou $B\hat{O}N$, pendant que l'objet même Ee paroîtra à la vue simple sous l'angle $E\hat{A}e$; donc la lunette grossit autant de fois que l'angle $B\hat{O}N$ est plus grand que l'angle $E\hat{A}e$. Or puisque la ligne NO est parallèle à Bf , l'angle $B\hat{O}N$ est égal à l'angle $F\hat{B}f$, & l'angle $E\hat{A}e$ est égal à son opposé par la pointe $F\hat{A}f$, d'où le grossissement doit être jugé, du rapport entre les angles $F\hat{B}f$ & $F\hat{A}f$, dont celui-là est autant de fois plus grand que celui-ci que la ligne AF , ou la distance du foyer de l'objectif, surpasse la ligne BF , ou la distance du foyer de l'oculaire. Ce qui est une preuve suffisante que les élémens de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout-à-fait différente, ce que V. A. reconnoîtra avec bien de la satisfaction.

On voit par là que la lunette

Paris le 23 Février 1762.

et sup. par la lunette

de la lunette

de la lunette

de la lunette

de la lunette

de la lunette

de la lunette

LETTRE CCX.

MAINTEANT V. A. connoitra, non-seulement combien de fois grossit une lunette proposée, mais la construction des lunettes qui grossissent autant de fois qu'on veut. Dans le premier cas on n'a qu'à mesurer la distance du foyer tant du verre objectif, que de l'oculaire, pour voir combien de fois l'une surpasse l'autre, ce qui se fait par la division, & le quotient marque le grossissement.

Ayant donc une lunette dont la distance de foyer de l'objectif est de deux pieds, & celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce est contenu en deux pieds. Il faut déjà savoir qu'un pied contient 12 pouces, & qu'ainsi deux pieds en font 24, qu'il faut diviser par un. Or, quelque nombre qu'on divise par un, le quotient lui est toujours égal, ou si l'on demande combien un pouce est contenu en 24 pouces, on répond sans balancer 24 fois, par conséquent la lunette en question grossit 24 fois, c'est-à-dire, nous représente les objets éloignés de la même manière, que s'ils étoient 24 fois plus grands qu'ils ne le sont; ou bien, on les verra par la lunette sous un angle 24 fois plus grand qu'à la vue simple.

Considérons une autre lunette astronomique, dont la distance de foyer du verre ob-

jectif est de 32 pieds & celle de l'oculaire de 3 pouces, & V. A. verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds & 3 pouces, attendu que, dans toutes les lunettes astronomiques, la distance entre les verres est égale à la somme des deux distances de foyer des verres, comme il est clair par ma lettre précédente.

Pour trouver à présent combien de fois cette lunette grossit, il faut diviser 32 pieds par 3 pouces, &, pour cet effet, convertir ces 32 pieds en pouces, en les multipliant par 12

$$\begin{array}{r} 32 \text{ pieds} \\ 12 \text{ —————} \\ 64 \text{ —————} \\ 32 \end{array}$$

ce qui donnera 384 pouces ensuite, on divisera ces 384 pouces par 3

$$\begin{array}{r} 3 \text{ —————} 384 \\ 128 \end{array}$$

& le quotient 128 marque que la lunette proposée grossit 128 fois, ce qui est sans-doute un grossissement très-considérable.

Réciproquement donc, pour construire une lunette qui grossisse un nombre donné de fois, par exemple 100 fois; il faut employer deux verres convêxes, dont la distance de foyer de l'un soit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors l'un donnera l'objectif & l'autre

l'oculaire. Il faut ensuite disposer ces deux verres sur un même axe, en sorte que leur distance soit égale à la somme des deux distances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, & alors, l'œil étant derrière l'oculaire, à la distance de son foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de manières différentes; en prenant un verre oculaire à volonté, & le joignant avec un objectif dont la distance de foyer soit 100 fois plus grande. Ainsi prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, & la distance des verres 101 pouces. Or en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir le sien à la distance de 200 pouces, & celle entre les verres sera de 202 pouces. Si l'on prenoit l'oculaire de 3 pouces de foyer, la distance de foyer de l'objectif devrait être de 300 pouces & celle entre les verres de 303 pouces. Et si l'on prenoit l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devrait avoir sa distance de foyer de 400 pouces, & celle entre les verres seroit de 404 pouces, & ainsi de suite en donnant toujours plus de longueur à la lunette. Mais si, au contraire, on ne donnoit à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devrait avoir 100 demi-pouces, c'est-à-dire, 50 pouces de foyer, & la distance entre les verres, ne seroit que 50 pouces & demi; ce qui fait un peu plus de 4 pieds. Et si l'on prenoit

l'oculaire d'un quart de pouce, l'objectif n'auroit que 100 quarts ou 25 pouces, & la distance entre les deux verres 25 pouces & un quart, ce qui seroit un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs manières de produire le même grossissement de 100 fois, & si nous avons la liberté du choix, V. A. n'hésiteroit pas à donner la préférence à la dernière, comme la plus courte; où, la lunette n'étant que de 2 pieds à-peu près, est bien plus aisée à manier qu'une beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balancerait à préférer les lunettes les plus courtes, si toutes les circonstances étoient les mêmes, & que ces différentes sortes représentassent les objets avec le même degré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation n'en est pas également nette & claire; celle de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres, mais en regardant par cette lunette, les objets paroîtront non-seulement obscurs, mais mal terminés & confus, ce qui est sans-doute un très-grand défaut. L'avant-dernière lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette à ces défauts, cependant l'obscurité & la confusion y sont encore insupportables : & ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs, & seront déjà beaucoup moindres, lorsqu'on emploiera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer ; en augmentant ces méfu-

res , la représentation devient encore plus nette & plus claire, de sorte, qu'à cet égard, les longues lunettes sont préférables aux courtes, quoique d'ailleurs elles soient moins commodes. Cette circonstance m'ouvre la carrière pour expliquer encore à V. A. deux articles très-essentiels dans la théorie des lunettes; l'un regarde la clarté ou le degré de lumière dont les objets sont vus; & l'autre la netteté d'expression dont ils sont représentés. Sans ces deux qualités, tout grossissement, quelque grand qu'il soit, ne nous apporte aucun avantage pour la contemplation des objets.

le 27 Février 1762.

L E T T R E C C X I.

POUR juger du degré de clarté dont les lunettes nous représentent les objets, je me servirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A., lorsque j'ai traité le même sujet, par rapport aux microscopes.

Il faut d'abord faire attention, qu'il ne s'agit point dans cette recherche du degré de lumière, qui réside dans les objets mêmes, & qui peut être très-différent, tant dans les différens corps, en ce qu'ils sont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même

corps, en différentes circonstances. Les mêmes corps, lorsqu'ils sont éclairés du soleil, ont sans-doute plus de lumière que lorsque le ciel est ouvert, & de nuit leur lumière est tout-à-fait éteinte; mais différents corps, éclairés par la lumière, peuvent différer beaucoup en clarté, selon que leurs couleurs sont plus ou moins vives. Il n'est pas question de cette lumière, ou de cette clarté qui se trouve dans les objets mêmes; mais, qu'elle soit forte ou foible, on dit qu'une lunette représente les objets en pleine clarté, lorsque nous les voyons par son moyen aussi clairement que par la vue simple; de sorte que si l'objet est obscur, on ne sauroit prétendre que la lunette nous le représente avec éclat.

Ainsi, par rapport à la clarté, une lunette est parfaite, lorsqu'elle nous représente les objets avec autant de clarté que si nous les regardions à la vue simple. Ce qui arrive, comme dans les microscopes, lorsque toute l'ouverture de la pupille est remplie par les rayons qui viennent de chaque point de l'objet; après avoir été transmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit assez de rayons pour remplir toute l'ouverture de la pupille, on ne sauroit désirer plus de clarté; & quand elle en fourniroit en plus grande abondance, cela seroit inutile; puisqu'il n'en entreroit également pas davantage dans l'œil.

Il faut donc avoir principalement égard ici à l'ouverture de la pupille, qui étant varia-

ble, empêche de rien fixer là-dessus, si l'on ne se règle sur une certaine ouverture, qui est suffisante lorsque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, est remplie de rayons, & pour cela, on suppose communément le diamètre de la pupille d'une ligne, dont 12 font un pouce; on se contente souvent même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, & quelquefois moins encore.

Si V. A. considère que la lumière du soleil surpasse 300,000 fois celle de la lune, qui pourtant est assez considérable, elle jugera bien qu'une petite diminution de clarté n'est pas de grande conséquence dans la contemplation des objets. Après cela il ne me reste qu'à examiner les rayons que la lunette tranfmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille, & considérer les rayons qui viennent d'un seul point de l'objet, *Tab. 9. fig. 1.* celui, par exemple, qui se trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent sur la surface du verre objectif PAP, sont parallèles entr'eux; donc tous les rayons qui viennent du centre de l'objet seront contenus entre les lignes LP, LP parallèles à l'axe EA : tous ces rayons ensemble sont nommés le faisceau des rayons qui tombent sur le verre objectif, & l'épaisseur de ce faisceau est égale à l'étendue, ou

à l'ouverture du verre objectif, dont le diamètre est PAP.

II. Ce faisceau de rayons se change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, & après s'être croisé dans le foyer F, il forme un nouveau cône mFm terminé par le verre oculaire, où il est évident que la base de ce cône mm est autant de fois plus petite que la largeur du faisceau PP, que la distance FB est plus courte que la distance AF.

III. Maintenant ces rayons Fm , Fm , en passant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau parallèles entr'eux, & forment le faisceau de rayons no , no , qui entrent dans l'œil, & y dépeignent l'image du point de l'objet d'où ils sont partis originiairement.

IV. Tout revient à présent à l'épaisseur de ce faisceau de rayons no , no qui entre dans l'œil, & si cette épaisseur nn ou oo est égale ou plus grande que l'ouverture de la pupille, elle en sera remplie, & l'œil jouira de toute la clarté possible; ou bien l'objet paroîtra avec autant de clarté, que si on le regardoit sans autre secours que celui des yeux.

V. Mais si ce faisceau nn , ou oo étoit beaucoup moins épais que la pupille, il est évident que la représentation deviendrait d'autant plus obscure, ce qui feroit un grand défaut à la lunette.

Pour y remédier, il faut donc que ce faisceau ait la moitié d'une ligne d'épaisseur & il seroit bon qu'il fut d'une ligne entière, puisque c'est l'ouverture ordinaire de la pupille.

VI. Il est clair que l'épaisseur de ce faisceau a un certain rapport avec celle du premier, qu'il n'est pas difficile de déterminer : on n'a qu'à voir combien de fois l'intervalle nn , ou mm est plus petit que celui PP , qui est l'ouverture du verre objectif. Or l'intervalle PP est à mm en même proportion que la distance AF à BF , d'où dépend le grossissement; ainsi, le grossissement même nous montre, combien de fois le faisceau $LPLP$ est plus large que celui $nono$ qui entre dans l'œil.

VII. Puis donc que la largeur nn ou oo doit être une ligne ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif PP doit au moins contenir autant de demi-lignes, que le grossissement indique; ainsi quand la lunette doit grossir 100 fois, l'ouverture de son verre objectif doit avoir pour diamètre 100 demi-lignes, ou 50 lignes, qui font 4 pouces & deux lignes.

VIII. V. A. voit donc que, pour éviter l'obscurité, il faut que l'ouverture de l'objectif soit d'autant plus grande, que le grossissement est grand. Et conséquemment, si le verre objectif qu'on veut employer, n'est pas susceptible d'une telle ouverture,

la lunette fera défectueuse pour la clarté de la représentation.

Maintenant il est assez clair que, pour de grands grossifsemens, on ne sauroit employer des petits objectifs, dont la distance de foyer soit trop petite, puisqu'un verre formé par des arcs de petits cercles, ne sauroit avoir une grande ouverture.

le 1 Mars 1762.

LETTRE CCXII.

V. A. vient de voir que le grossissement détermine la grandeur ou l'étendue du verre objectif, afin que les objets paroissent avec un degré suffisant de clarté. Cette détermination ne regarde que la grandeur ou l'ouverture de l'objectif, cependant sa distance de foyer s'en ressent aussi, de sorte que plus le verre doit être grand, plus sa distance de foyer doit l'être.

La raison en est évidente, puisque pour former un verre dont la distance de foyer est par exemple de deux pouces, ses deux faces doivent être des arcs de cercle dont le rayon est aussi environ de deux pouces: j'ai donc représenté *Tab. IX. fig. 2.* deux verres P & Q, où les arcs sont décrits avec un rayon de deux pouces. Le verre P étant plus épais,

est bien plus grand que celui Q , mais j'expliquerai dans la suite, que les verres épais sont assujettis à d'autres inconvéniens, qui sont même si grands, qu'il faut renoncer entièrement à leur usage. Le verre Q sera donc plus propre pour la pratique, puisqu'il est composé de moindres arcs du même cercle, & comme sa distance de foyer est de deux pouces, son étendue ou ouverture mn pourroit à peine surpasser un pouce. D'où l'on peut établir cette règle générale, que la distance de foyer d'un verre doit toujours être plus de deux fois plus grande que le diamètre de son étendue mn , ou que l'ouverture d'un verre doit nécessairement être plus petite que la moitié de sa distance de foyer.

Ayant donc remarqué que pour grossir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit surpasser 4 pouces, il s'ensuit que la distance de foyer doit surpasser 3 pouces, & je ferai voir bientôt que le double ne suffit pas, & qu'il faut même augmenter la distance de foyer de ce verre, au-delà de 300 pouces. La netteté d'expression de l'image demande cette grande augmentation; dont je parlerai dans la suite; je me contente de remarquer ici, qu'à l'égard de la figure géométrique du verre, l'ouverture ne sauroit être plus grande que la moitié de sa distance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail sur l'ouverture de l'objectif que chaque grossissement exige, & je remarque d'abord

que, quoiqu'un degré suffisant de clarté demande une ouverture de 4 pouces, lorsque la lunette doit grossir 100 fois, on se contente dans les lunettes astronomiques d'une de 3 pouces, puisque la diminution de clarté en devient peu sensible; d'où les artistes ont établi la règle, que pour grossir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif soit de 3 pouces & pour les autres grossissemens à proportion. Ainsi pour grossir 50 fois, il suffit que l'ouverture de l'objectif soit d'un pouce & demi; pour grossir 25 fois trois quarts de pouce suffisent & ainsi des autres grossissemens.

L'on voit par-là qu'une très-petite ouverture de l'objectif est suffisante pour les petits grossissemens, & que par conséquent la distance de foyer peut être très-médiocre. Mais si l'on veut grossir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces, ou d'un demi-pied, ce qui demande déjà un très-grand verre, dont la distance de foyer doit surpasser même 100 pieds, pour obtenir une expression nette & bien déterminée: c'est pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si longues, au moins selon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à V. A. Car depuis quelque tems, on a travaillé avec beaucoup de succès à diminuer cette longueur excessive. Cependant l'ouverture de l'objectif doit suivre la règle que je viens d'établir, puisque la clarté en dépend nécessairement.

Si donc l'on vouloit faire une lunette qui grossit 400 fois, l'ouverture de l'objectif devroit toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre sa distance de foyer : & si l'on vouloit grossir 4000 fois, l'ouverture de l'objectif devroit être de 10 pieds, ce verre feroit donc bien grand & même trop, pour que nos artistes pussent l'exécuter, & c'est pourquoi nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement aussi loin, à moins qu'un prince ne voulut faire les dépenses nécessaires pour former & travailler de si grands verres ; encore, peut-être n'y réussiroit-on pas.

Cependant une lunette qui grossiroit 4000 fois devroit nous découvrir bien des merveilles dans le ciel : la lune nous paroîtroit 4000 fois plus grande, que nous ne la voyons à la vue simple ; ou bien nous la verrions comme si elle étoit 4000 fois plus près de nous qu'elle n'est. Voyons donc jusqu'à quel degré nous pourrions y distinguer les différens corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52000 milles d'Allemagne, dont la 4000 partie fait 13 milles, ainsi cette lunette nous la feroit voir comme si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, & par conséquent nous pourrions y distinguer les mêmes choses, que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance ; or sur une montagne, on peut bien voir d'autres montagnes qui en sont éloignées au-delà de 13 mil-

les. Il n'y a donc point de doute, que nous ne découvrissions sur la surface de la lune, quantité de choses dont nous ferions bien surpris; mais pour décider si la lune est habitée par des créatures semblables à celles de la terre, une distance de 13 milles est trop grande encore; il faudroit avoir pour cet effet une lunette qui grossit encore 10 fois davantage & par conséquent 40000 fois, dont l'objectif devroit avoir une ouverture de 100 pieds, ce que l'adresse des hommes n'exécutera jamais. Mais avec une lunette semblable nous verrions la lune comme si elle n'étoit pas plus éloignée de nous que Berlin de Spandau, & de bons yeux pourroient bien y voir des hommes, s'il y en avoit, mais pourtant trop peu distinctement, pour s'en assurer entièrement.

Comme nous devons nous contenter de souhaits à cet égard, le mien seroit plutôt d'avoir tout d'un tems une lunette qui grossit 100000 fois; la lune se présenteroit alors comme si elle n'étoit éloignée de nous que d'un demi-mille. L'ouverture de l'objectif de cette lunette devroit donc être de 250 pieds, & nous verrions au moins les grosses bêtes qui peuvent être dans la lune.

le 6 Mars 1762.

L E T T R E C C X I I I .

LA netteté de l'expression est un article si important dans les qualités d'une lunette, qu'elle semble l'emporter sur tous ceux dont j'ai eu déjà l'honneur de rendre compte à V. A., puisque tout le monde convient qu'une lunette, qui ne représente pas nettement les images des objets, est fort défectueuse. J'ai donc à expliquer les raisons de ce défaut de netteté, afin qu'on puisse penser avec plus de succès aux moyens d'y remédier.

Elles paroissent d'autant plus cachées, que les principes que j'ai établis jusqu'ici n'en découvrent point l'origine: en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me suis servi jusqu'ici, n'est point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

V. A. se souvient que j'ai posé pour principe, qu'un verre convexe rassemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet: si cela étoit vrai à la rigueur, les images représentées par les verres seroient aussi bien terminées que l'objet même, & il n'y auroit point à craindre de défaut à cet égard.

Voici donc en quoi consiste la défectuosité de ce principe; les verres n'ont la propriété que je leur ai supposée, qu'autour de leur mi-

lieu ; les rayons qui passent vers les bords d'un verre se rassemblent dans un autre point que ceux qui passent vers le milieu , quoique tous viennent d'un même point de l'objet , & il en naît deux images différentes qui troublent la netteté.

Pour mettre cela dans tout son jour , considérons dans *Tab. IX. fig. 3.* le verre convexe PP , sur l'axe duquel se trouve l'objet Ee , dont le point E situé dans l'axe , envoie les rayons EN , EM , EA , EM , EN , sur la surface du verre. C'est sur la route de ces rayons changés par la réfraction , qu'il faut fixer notre attention.

- I. Le rayon EA , qui passe par le milieu A du verre , n'en souffre aucune réfraction , il continue sa route dans la même direction sur la ligne ABF .
- II. Les rayons EM & EM fort proches de celui-là , en souffrent une petite , par laquelle ils se réunissent quelque part en F avec l'axe , où est le lieu de l'image Ff , dont j'avois parlé dans mes premiers entretiens sur cette matière.
- III. Les rayons EN & EN , qui sont plus éloignés de l'axe EA & qui passent vers les bords NN du verre , souffrent une réfraction un peu différente , qui les réunit , non dans le point F , mais dans un autre point G plus proche du verre , & ces rayons représenteront une autre image Gg différente de la première Ff .

IV. Remarquons bien cette circonstance particulière, à laquelle je n'ai pas fait attention auparavant; c'est que les rayons qui passent par le verre vers ses bords, représentent une autre image Gg , que ceux qui passent par son milieu MAM .

V. Si les rayons EN , EN s'éloignoient encore plus du milieu A , & qu'ils passassent par les extrémités mêmes P & P du verre, leur réunion s'approcheroit encore davantage du verre, & formeroit une nouvelle image plus proche du verre que Gg .

VI. $V. A.$ jugera aisément par-là que la première image Ff qu'on nomme la principale, n'est formée que par les rayons qui sont presque infiniment proches du milieu A , & que dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il se forme une image particulière plus proche du verre, jusqu'à ce que ceux qui passent près les bords forment la dernière Gg .

VII. Donc, tous les rayons qui passent par le verre PP , représentent une infinité d'images disposées entre Ff & Gg , & à chaque distance de l'axe la réfraction du verre produit une image particulière, de sorte que l'espace entre F & G est rempli d'une file d'images.

VIII. Aussi cette file d'images est-elle nommée la diffusion de l'image, & quand tous ces rayons entrent ensuite dans quelque œil, il est naturel que la vision en soit d'au-

tant plus troublée, que l'espace FG , par lequel l'image est répandue est plus considérable : si cet espace FG se réduisoit à rien, aucune confusion ou défaut de netteté ne feroit à craindre.

IX. Plus les arcs PAP & PBP sont de grandes parties des cercles dont ils sont pris, plus aussi l'espace de diffusion FG est grand ; d'où V. A. doit comprendre pourquoi il faut rejeter tous les verres trop épais, où ces arcs, qui forment les faces du verre, sont des parties considérables de cercles ; comme dans la *fig. 4. Tab. IX.* où les arcs PAP & PBP sont la quatrième partie de la circonférence entière, de sorte que chacun contient 90 degrés, ce qui par conséquent produiroit une confusion insupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment les faces d'un verre, contiennent beaucoup moins de 90 degrés : s'ils en contenoient 60, la diffusion de l'image feroit encore insupportable. Les auteurs, qui ont écrit sur cette matière, ne veulent admettre que 30 degrés tout au plus : & il y en a qui se bornent à 20. On voit un verre semblable dans la *fig. 5. Tab. IX.* où les arcs PAP & PBP ne contiennent que 20 degrés, chacun n'étant que la 18^{me} partie de la circonférence entière d'où ils sont pris.

XI. Mais si ce verre doit tenir lieu d'objectif dans une lunette, il faut que les arcs PAP & PBP contiennent encore beaucoup moins

de degrés. Car quoique la diffusion de l'image soit insensible en elle-même, le grossissement la multiplie autant de fois que l'objet même. Ainsi, plus le grossissement est grand, plus le nombre de degrés que les faces embrassent doit être petit.

XII. Quand la lunette doit grossir 100 fois, V. A. se souvient, que l'ouverture P P de l'objectif doit être de 3 pouces, & la distance de foyer 360 pouces, qui est égale aux rayons dont les deux arcs P A P & P B P sont décrits; d'où il s'ensuit que chacun de ces deux arcs ne contient qu'un demi-dégré; & c'est la netteté dans l'expression qui exige une si petite mesure; si l'on vouloit grossir 200 fois, un demi-dégré seroit encore trop, & alors la mesure des arcs ne devroit pas surpasser le tiers d'un degré. Cependant cet arc doit recevoir une étendue de 6 pouces, ainsi le rayon du cercle doit être d'autant plus grand & par conséquent aussi la distance de foyer. C'est là, véritablement pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si considérablement longues.

le 9 Mars 1762.

L E T T R E C C X I V .

LORSQUE l'espace de diffusion d'un verre objectif est trop grand, pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en résulte soit supportable, rien n'est plus aisé que d'y remédier; on n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton, percé d'un trou vers le centre, de sorte que le verre ne puisse transmettre d'autres rayons, que ceux qui y tombent par le trou, & que ceux qui passaient auparavant par les bords du verre en soient exclus: car puisqu'il n'y a que les rayons qui soient transmis vers le milieu du verre, plus le trou sera petit plus l'espace de diffusion le fera: ainsi, en diminuant le trou, on peut rendre l'espace de diffusion aussi petit qu'on veut.

Il en est de même alors que si le verre n'étoit pas plus grand que le trou, ainsi la partie couverte par le carton devient inutile, & c'est le trou qui détermine l'ouverture du verre: aussi se sert-on de ce remède pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig. 6. Tab. IX.* PP est le verre objectif, devant lequel est placé le carton NN percé du trou MM, qui est l'ouverture du verre. Cette ouverture MM est ici à-peu-près la moitié de ce qu'elle feroit si l'on ôtoit le carton, ainsi l'espace de diffusion est beaucoup

plus petit : on remarque que l'espace de diffusion pour ce cas-ci n'est que le quart de celui d'auparavant , un trou MM , qui ne feroit que le tiers de PP , rendroit l'espace de diffusion 9 fois plus petit : ainsi l'effet de ce remède est très-considérable , & pour peu qu'on couvre les bords du verre , l'effet en devient très-sensible.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paroissent pas assez nets , puisqu'une file d'images qui se confondent ensemble , doit nécessairement produire de la confusion , on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un carton pareil , & cette confusion s'évanouïra infailliblement. Mais on tombe dans le défaut , tout aussi facheux , que le degré de clarté en est diminué. V. A. se souvient que chaque grossissement exige une certaine ouverture de l'objectif , afin qu'il y soit transmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté suffisante ; il est donc bien facheux qu'en remédiant à un défaut , on s'expose à un autre ; & il faut absolument qu'une bonne lunette fournisse assez de clarté , sans nuire à la netteté , dans la représentation des objets.

Mais n'y auroit-il pas moyen de diminuer , & de réduire même à rien , l'espace de diffusion des verres objectifs , sans en diminuer l'ouverture ? Telle est la grande question à laquelle on travaille depuis quelque tems , & dont la solution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'hon-

neur d'expliquer à V. A. les moyens que les savans ont imaginé pour y parvenir.

Comme le foyer des rayons qui passent par le milieu d'un verre convexe, est plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui passent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produisent un effet contraire ; ce qui a occasionné de rechercher s'il ne feroit pas possible de combiner un verre convexe avec un verre concave, de façon que l'espace de diffusion fut entièrement anéanti ? & que d'ailleurs ce verre composé produisît le même effet qu'un objectif ordinaire simple ? V. A. fait que les verres concaves sont aussi bien mesurés par leur distance de foyer, que les verres convexes ; avec cette différence, que le foyer des concaves n'est qu'imaginaire & tombe devant le verre ; pendant que le foyer des verres convexes est réel & tombe derrière eux. Cela remarqué, on raisonne de la manière suivante.

- I. Si l'on place *Tab. IX. fig. 7.* derrière un verre convexe P A P un verre concave Q B Q de la même distance de foyer, les rayons que le verre convexe réuniroit dans son foyer, seront refractés par le concave, de sorte qu'ils redeviennent paralleles entr'eux, comme ils l'étoient avant que de passer par le verre convexe.
- II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du convexe, & il en est de même que si les rayons continuoient leur route natu-

relle, sans avoir éprouvé aucune réfraction. Car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudroient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave étoit plus petite que celle du verre convexe, il produiroit un plus grand effet, & rendroit les rayons divergens comme dans la *fig. 8. Tab. IX.* les rayons incidens parallèles LM, EA, LM passant par les deux verres prennent les routes NO, BF, NO, qui sont divergentes entr'elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un verre concave simple, qui imprimeroit aux rayons incidens parallèles la même divergence. Deux verres pareils joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convexe, sont donc équivalens à un seul verre concave.

IV. Mais si le verre concave QQ *Tab. IX. fig. 9.* a une plus grande distance de foyer que le verre convexe PP, il n'est pas même suffisant de rendre parallèles entr'eux les rayons que le verre convexe seul réuniroit dans son foyer F : ces rayons demeurent donc convergens, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave, enforte que les rayons au lieu de se réunir en F, se réuniront dans le point O plus éloigné.

V. Ces deux verres joints ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convexe simple, qui auroit son foyer en O, puisqu'il

réuniroit les rayons parallèles LM, EA, LM également dans le même point, il est donc clair qu'il est possible de combiner d'une infinité de manières, deux verres, l'un convexe & l'autre concave, de sorte que leur combinaison soit équivalente à un verre convexe donné.

VI. Un tel verre objectif double, pourra donc être employé dans les lunettes, au lieu du simple auquel il est équivalent, & l'effet, par rapport au grossissement, fera tout-à-fait le même. Or l'espace de diffusion sera tout-à-fait différent, & il peut arriver qu'il soit plus ou moins grand, que celui d'un objectif simple, & dans ce dernier cas, l'objectif double sera bien préférable au simple.

VII. Mais il y a plus; on a trouvé qu'il est possible de faire des arrangemens de deux verres tels, que l'espace de diffusion est tout-à-fait réduit à rien, ce qui est sans-doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangemens, mais les artistes ne sont pas encore assez habiles pour les exécuter.

le 19 Mars 1762.

L E T T R E C C X V .

LA combinaison de deux verres , dont je viens de donner l'idée à V. A. est nommée objectif composé ; le but en est que tous les rayons , tant ceux qui passent par le milieu du verre que par les bords , soient réunis dans un seul point , de sorte qu'il ne s'y forme qu'une seule image , sans diffusion , comme dans les objectifs simples. Si les artistes réussissoient à cette construction , on en retireroit les plus grands avantages , comme V. A. le verra.

Il est d'abord évident que la représentation des objets doit être beaucoup plus nette & mieux terminée , puisque la vision n'est plus troublée par l'apparition de cette file d'images , qui occupent l'espace de diffusion , lorsque l'objectif est simple.

Ensuite , puisque cet espace de diffusion est l'unique raison qui nous oblige de donner aux objectifs simples , une si excessive distance de foyer , pour rendre le fâcheux effet qui en résulte insensible ; en employant des objectifs composés , nous ne serons plus réduits à cet expédient incommode , & nous pourrons faire des lunettes incomparablement plus courtes , qui produiront le même grossissement.

Lorsqu'en employant un objectif simple on veut grossir 100 fois , sa distance de foyer ne sauroit être plus petite que de 30 pieds , & la

longueur de la lunette devient encore plus grande à cause du verre oculaire dont la distance de foyer doit être ajoutée ; un moindre objectif produiroit, à cause de son plus grand espace de diffusion, une confusion insupportable. Or une longueur de 30 pieds, non-seulement est très-incommode, mais les artistes réussissent rarement à former des verres d'une si grande distance de foyer. V. A. en sentira bien la raison, puisque le rayon des faces de ce verre doit être aussi de 30 pieds, & qu'il est très-difficile de décrire exactement un si grand cercle, où la moindre aberration rend le travail inutile.

Ces accidens ne sont pas à craindre dans la construction des verres objectifs composés, qui peuvent être formés de plus petits cercles, pourvu qu'ils soient susceptibles de l'ouverture que le grossissement exige. Ainsi, pour grossir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces : or on pourra bien construire un objectif composé, dont la distance de foyer ne seroit que de 100 pouces, & qui admettroit une ouverture de plus de 3 pouces : donc, puisque la distance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle seroit d'un pouce ; & l'intervalle entre les verres devant être la somme de leurs distances de foyer, la longueur de la lunette ne seroit que 101 pouces, qui font 8 pieds & 5 pouces, bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il semble qu'un objet composé, dont le foyer seroit à 50 pouces, pourroit bien admettre encore une ouverture de 3 pouces & même au-delà; prenant donc l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même grossissement de 100 fois, & la longueur de la lunette seroit réduite à la moitié, c'est-à-dire, à 4 pieds & près de 3 pouces. Une telle lunette produiroit donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui est sûrement le plus grand avantage qu'on puisse souhaiter.

Si un tel objectif composé réussissoit, on n'auroit qu'à doubler toutes les mesures, pour en avoir un qui admit une ouverture de 6 pouces, & celui-ci pourroit être employé à grossir 200 fois, en se servant d'un oculaire de demi-pouce de foyer, comme la deux-centième partie de la distance de foyer de l'objectif, qui seroit dans ce cas de 100 pouces. Or une lunette ordinaire qui grossit 200 fois, surpasse la longueur de 100 pieds; pendant que celle qui est faite avec un objectif composé, ne contient qu'environ 8 pieds, & peut être employée très-commodément dans la pratique, au lieu qu'une lunette de 100 pieds est un fardeau presque entièrement inutile.

On pourroit pousser la chose beaucoup plus loin encore, & doubler même les mesures, pour avoir un objectif composé, dont la distance de foyer fut de 200 pouces ou de 16 pieds & 8 pouces, qui admit une ouverture de 12 pouces ou d'un pied; prenant alors un ocu-

laire d'un demi-pouce de foyer, puisque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces, on aura une lunette qui grossira 400 fois, & qui fera encore très-bien traitable, étant au-dessous de 17 pieds, pendant que si l'on vouloit produire le même grossissement par un verre objectif simple, la longueur de la lunette devroit surpasser 300 pieds, & ne seroit certainement d'aucun usage, à cause de sa prodigieuse longueur.

On a à Paris une lunette de 120 pieds & à Londres une de 130, mais les terribles difficultés de les monter & de les diriger, anéantissent presque les avantages qu'on s'en étoit promis. V. A. en conclurra, combien il seroit important, que l'on réussit dans la construction des objectifs composés dont je viens de parler. J'en avois donné les premières idées, il y a plusieurs années; & depuis ce tems les plus habiles artistes en Angleterre & en France travaillent à les exécuter; la chose demande bien des essais & une grande adresse de la part de l'ouvrier; & quoique j'aye fait faire par le machiniste de notre académie quelques heureux essais, les dépenses d'une telle entreprise m'ont obligé d'y renoncer.

Mais la société des sciences à Londres a annoncé l'année passée qu'un très-habile artiste, nommé Dollond, en étoit venu heureusement à bout; & maintenant on admire par-tout ses lunettes. Un autre habile artiste de Paris, nommé Passemont, se vante d'un succès pareil,

l'un & l'autre me faisoit l'honneur, autrefois, d'entretenir une correspondance avec moi sur cette matière; mais comme il s'agissoit principalement de surmonter de grands obstacles dans la pratique, ce dont je ne m'étois jamais mêlé, il est bien juste que je leur abandonne la gloire de la découverte: ce n'est que la partie théorétique qui m'appartient, & qui m'a coûté des recherches bien profondes & des calculs très-peinibles, dont la vue seule éfrayeroit V. A.; ainsi je me garderai bien de l'entretenir sur cette matière épineuse.

le 16 Mars 1762.

LETTRE CCXVI.

POUR donner à V. A. quelque'idée des recherches qui m'ont conduit à la construction des objectifs composés, je dois commencer par la formation des verres simples.

Remarquons d'abord que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de manières différentes, en prenant les cercles, dont les faces sont des parties, ou égaux ou inégaux entr'eux, desorte pourtant que la distance de foyer demeure toujours la même.

On donne ordinairement aux deux faces d'un verre la même figure, ou comme on représente les faces des verres par des arcs de cercles,

on fait les deux faces des rayons égaux entr'eux. La commodité dans l'exécution a fans-doute recommandé cette figure, puisqu'on peut se servir du même bassin pour former l'une & l'autre face, & que la plûpart des ouvriers n'est pourvue que d'un petit nombre de bassins.

Supposons donc un verre convexe, dont les deux faces soient travaillées sur un même bassin de 24 pouces de rayon, desorte que chaque face soit un arc de cercle dont le rayon soit de 24 pouces, ce verre sera convexe des deux côtés, & il aura son foyer à la distance de 24 pouces, comme on l'estime communément; mais comme le foyer dépend de la réfraction, & que la réfraction n'est absolument pas la même dans toutes les espèces de verres, où se trouve une diversité assez considérable selon que le verre est plus ou moins blanc & dur; cette estime du foyer n'est pas juste à la rigueur, & ordinairement la distance du foyer du verre est un peu moindre que le rayon de ses deux faces, tantôt de la dixième partie, tantôt de la douzième; ainsi le verre que je viens de supposer, & dont les rayons de chaque face sont de 24 pouces, aura son foyer à une distance d'environ 22 pouces, s'il est travaillé de la même sorte de verre dont on fait communément les miroirs: quoiqu'on rencontre aussi dans cette espèce de verres une petite diversité par rapport à la réfraction.

Nous voyons ensuite qu'en faisant les deux faces du verre inégales, on peut former une
infinité

infinité d'autres verres, qui ont tous la même distance de foyer : car, en prenant le rayon d'une face plus petit que 24 pouces, on prendra celui de l'autre face d'autant plus grand, selon une certaine proportion ; on peut toujours prendre le rayon d'une face à volonté, & trouver par le moyen d'une certaine règle le rayon de l'autre, afin que la distance de foyer devienne la même que si chaque face avoit 24 pouces de rayon. La table suivante offre plusieurs verres pareils, qui ont tous la même distance de foyer.

Verres	Rayons de la I ^{re} face.	Rayons de la II ^{de} face.
I.	24	24
II.	21	28
III.	20	30
IV.	18	36
V.	16	48
VI.	15	60
VII.	14	84
VIII.	13	156
IX.	12	infini

Dans la dernière forme le rayon d'une face n'est que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces, mais

celui de l'autre devient infini, ou plutôt, cette face est un arc de cercle infiniment grand; & comme un tel arc ne difère plus d'une ligne droite, cette face fera plane, & ce verre plano-convexe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, & le verre deviendra convexo-concave; il portera alors le nom de menisque dont voici plusieurs figures.

Menisque	Rayon de la face convexe	Rayon de la face concave.
X.	11	132
XI.	10	60
XII.	9	36
XIII.	8	24
XIV.	6	12
XV.	4	6
XVI.	3	4

Voilà donc encore une nouvelle espèce de verres, dont la dernière est représentée dans la *fig. II. Tab. IX.* desorte que nous en avons ici 16 espèces différentes, qui ont toutes leurs foyers à la même distance, qui fera environ de 22 pouces, un peu plus ou moins, selon la nature du verre.

Quand donc il n'est question que de la distance de foyer que le verre doit avoir, il est indifférent selon quelle de ces formes on veuille le travailler : mais il s'y trouve une très-grande différence dans l'espace de diffusion, auquel chaque espèce est assujettie, cet espace devenant plus petit dans les unes que dans les autres. Quand on veut employer un verre objectif simple, comme à l'ordinaire, il n'est plus indifférent de quelle espèce on tire sa figure, & celle qui produit le plus petit espace de diffusion est à préférer. Or cette belle propriété ne convient pas à la première espèce, où les deux faces sont égales, mais à-peu-près à la VII. espèce, qui est douée de la prérogative, que lorsqu'on tourne vers l'objet la face la plus convexe, ou celle dont le rayon est plus petit, l'espace de diffusion se trouve environ de la moitié plus petit que si le verre étoit également convexe des deux côtés; c'est donc la figure la plus avantageuse aux verres objectifs simples, aussi les praticiens sont-ils d'accord là-dessus.

Il est donc clair que pour juger de l'espace de diffusion d'un verre, il ne suffit pas d'en connoître la distance de foyer; il faut savoir son espèce, c'est-à-dire, les rayons de chaque face, & bien distinguer laquelle est tournée vers l'objet.

Remarquez, après cette explication, que pour chercher la combinaison de deux verres qui ne produisent aucune diffusion d'image, il faut absolument tenir compte de la figure des deux

faces de chaque verre, & qu'on a ce problème à résoudre, *quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'espace de diffusion soit réduit à rien?* La solution demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie; & après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter; il faut qu'il donne aux bassins la même courbure précisément que le calcul a enseigné, & cela n'est pas suffisant encore, car pendant qu'on travaille le verre sur le bassin pour qu'il en prenne la figure, le bassin même en souffre à son tour; on est donc obligé de rectifier sa figure de tems-en-tems, avec la plus grande justesse, car dès qu'on manque à toutes ces précautions, on ne sauroit se promettre un heureux succès; aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu différente de celle du bassin; d'où V. A. jugera combien il doit être difficile de porter à la perfection cet important article de la dioptrique.

le 20 Mars 1762.

LETTRE CCXVII.

V. A. vient de voir de quelle manière on doit remédier à l'inconvénient des rayons qui, passant par les bords d'un verre, ne se réunissent pas dans le même point où sont réunis ceux

qui passent par son milieu, tellement qu'il en naît une infinité d'images dispersées par l'espace de diffusion. Mais cet inconvénient n'est pas seul, il en est encore un autre, d'autant plus important, qu'il semble impossible d'y remédier, parceque la cause ne se trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons mêmes.

V. A. se souvient qu'il règne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverses couleurs dont ils nous impriment le sentiment; j'ai comparé cette diversité avec celle qu'on trouve dans les tons, ayant établi pour principe, que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand cette explication paroîtroit encore douteuse, il reste très-sûr que les rayons des diverses couleurs souffrent aussi des réfractions différentes, en passant d'un milieu transparent dans un autre; ainsi les rayons rouges souffrent la plus petite réfraction, & les violets la plus grande, quoique la différence soit presque imperceptible. Or toutes les autres couleurs comme l'orange, le jaune, le verd, & le bleu, sont contenues, à l'égard de la réfraction, entre ces deux limites. Il faut aussi remarquer que le blanc est un mélange de toutes ces couleurs, qui, par la réfraction, se séparent les unes des autres.

En effet quand, *Tab. IX. fig. 12.* on fait tomber obliquement un rayon blanc *OP*, ou un rayon du soleil, sur un morceau de verre

ABCD, au lieu de continuer sa route suivant sa direction PQ, non-seulement il en est détourné, mais il se partage encore en plusieurs rayons $P r$, $P s$, $P t$, $P v$, dont le premier $P r$, qui est le moins détourné, représente la couleur rouge, & le dernier $P v$, qui est le plus détourné, la couleur violette; la dispersion rv est bien plus petite que ne le représente la figure, cependant leur divergence devient toujours plus sensible.

De cette différente réfrangibilité des rayons, selon leurs diverses couleurs, naissent les phénomènes suivans, par rapport aux verres dioptriques.

I. Soit P P *Tab. IX. fig. 13.* un verre convexe, sur l'axe OR duquel se trouve, dans un très-grand éloignement AO, l'objet O o, dont il s'agit de déterminer l'image représentée par le verre, en faisant ici abstraction de la première irrégularité qui regarde la diffusion, ou, ce qui revient au même, en ne considérant ici que les rayons qui passent par le milieu du verre AB, comme si ses bords étoient couverts d'un carton.

II. Supposons maintenant que l'objet O o soit rouge, de sorte que tous les rayons soient de la même nature, le verre en représentera quelque part l'image R, également rouge: on nomme alors le point R, le foyer des rayons rouges, ou de ceux qui souffrent la moindre réfraction.

III. Mais si l'objet Oo est violet, puisque les rayons de cette couleur souffrent la plus grande réfraction, l'image Vv sera plus proche du verre, que la précédente Rr ; ce point V est nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet étoit teint de quelqu'autre couleur, mitoyenne entre la rouge & la violette, l'image tomberoit entre les lieux R & V , feroit toujours bien nette, & terminée par la droite oB tirée de l'extrémité de l'objet o par le milieu du verre, cette règle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais si la couleur de l'objet n'est pas pure, comme il arrive dans presque tous les corps; ou que l'objet Oo fut blanc, ce qui est un mélange de toutes les couleurs, les diverses espèces de rayons sont alors séparées par la réfraction, & chacune représentera une image à part. Celle qui est formée par les rayons rouges, se trouvera en Rr ; & celle qui l'est par les rayons violets, en Vv ; & tout l'espace RV sera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. Le verre PP représentera donc une infinité d'images de chaque objet Oo , disposées par le petit espace RV , dont la plus éloignée du verre Rr est rouge & la plus proche Vv violette, & les moyennes, des couleurs moyennes; selon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII. Chacune de ces images sera bien nette

en elle-même, & toutes, terminées par la ligne droite oBv , tirée de l'extrémité de l'objet o par le milieu du verre B : mais elles ne fauroient être vues ensemble sans une confusion assez sensible.

VIII. Il en naît donc un espace de diffusion comme dans la première irrégularité, mais qui en diffère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, & que chaque image est teinte d'une couleur particulière.

IX. Cet espace de diffusion RV , dépend de la distance de foyer du verre, desorte qu'il en est toujours environ la vingt-huitième partie; quand donc la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace RV devient égal à un pied entier, ou bien, la distance entre l'image rouge Rr & la violette Vv , est d'un pied. Si la distance de foyer étoit deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace RV seroit de 2 pieds & ainsi des autres.

X. De-là l'estime de la distance de foyer d'un verre devient incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part: & quand on parle du foyer d'un verre, il faudroit toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais on l'entend communément des rayons d'une nature moyenne entre le rouge & le violet; & qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi quand on dit sans s'expliquer da-

avantage, que la distance de foyer de tel verre est de 56 pieds, il faut entendre que c'est l'image verte qui tombe à cette distance ; l'image rouge tombera environ d'un pied plus loin & la violette d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonstance bien essentielle, à laquelle il faut avoir égard dans les instrumens dioptriques.

le 23 Mars 1762.

LE T T R E CCXVIII.

IL faut bien distinguer cette nouvelle diffusion, ou multiplication de l'image, qui vient de la diverse réfrangibilité des rayons, en ce qu'ils sont de différentes couleurs, de la précédente qui provenoit de l'ouverture du verre, & de ce que les rayons qui passent près des bords, forment une autre image que ceux qui passent par son milieu. Aussi faut-il remédier à ce nouvel inconvénient différemment qu'au premier.

V. A. voudra bien se souvenir que j'ai proposé deux moyens pour remédier à l'inconvénient précédent ; l'un consistoit dans l'agrandissement de la distance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre ; ce remède nous conduisoit à des lunettes extrê-

mement longues, lorsqu'on fouhaitoit un grand grossissement. L'autre requéroit la combinaison de deux verres, l'un convexe & l'autre concave, pour tempérer la réfraction, de façon que tous les rayons transmis par ces verres se réunissent dans le même point, & que l'espace de diffusion fût réduit à rien.

Mais ni l'un ni l'autre de ces remèdes n'apporte du secours à l'inconvénient causé par la différente réfrangibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puisque, plus on augmente la distance de foyer du verre, plus l'espace par lequel les images colorées sont dispersées devient considérable: la combinaison de deux, ou plusieurs verres, n'est encore d'aucun secours, & on a trouvé par l'expérience & la théorie, que les images de différentes couleurs demeurent toujours séparées, quelque grand que soit le nombre des verres par lesquels on fait passer les rayons, & que, plus la lunette doit grossir, & plus la différence augmente.

Cette circonstance éfraya tellement le grand Newton, qu'il a désespéré de remédier à ce défaut, qu'il croyoit absolument inséparable des instrumens dioptriques, où la vision se fait par des rayons réfractés. C'est pourquoi il prit le parti de renoncer entièrement à la réfraction, & d'employer des miroirs au lieu de verres objectifs, puisque la réflexion est toujours la même pour tous les rayons; c'est cette idée qui nous a procuré ces excellens té-

lescopes à réflexion, dont on admire les effets surprenans, & dont je parlerai une autre fois, quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instrumens à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il étoit impossible de remédier à la diverse réfrangibilité des rayons, par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres; & je me suis apperçu, que si l'on pouvoit employer d'autres matières transparentes, dont la réfraction fut considérablement différente de celle du verre, il seroit bien possible de la combiner avec le verre, de sorte que tous les rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eut d'espace de diffusion. Ayant poursuivi cette idée, j'ai trouvé moyen de composer des objectifs de verre & d'eau tout-à-fait exemts de l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, qui, par conséquent, devroient produire un effet aussi bon que les miroirs.

J'ai exécuté cette idée par deux ménisques, ou verres concavo-convêxes *Tab. IX. fig. 14.* dont l'un est AACC & l'autre BBCC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vuide qui restoit entr'elles, de sorte que les rayons qui sont entrés par le verre AACC doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres, avant de sortir par CCBB. Chaque rayon souffre donc quatre ré-

fractions, la première en entrant de l'air dans le verre AACC, la seconde en passant de ce verre dans l'eau, la troisième en passant de l'autre verre CCBB, la quatrième en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres entrent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diamètres, en sorte que, de quelle couleur que soit un rayon de lumière, après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunisse dans le même point, & que la diverse réfrangibilité ne produise plus de diverses images.

Ces objectifs composés de deux verres & d'eau, tomboient d'abord trop dans le premier inconvénient, où les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu, mais après des recherches bien peinibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces, de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout-à-la-fois des inconvénients de l'une & de l'autre classe. Mais il falloit exécuter si exactement pour cela toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisoit échouer tous les avantages qu'on en attendoit, de sorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs.

D'ailleurs ce projet ne remédieroit qu'aux inconvénients qui sont à craindre de la part du verre objectif, & le verre oculaire ne manqueroit pas de produire aussi un effet fa-

cheux, auquel il est impossible de remédier de la même manière. On se sert souvent de plusieurs oculaires, pour construire des lunettes, comme je l'expliquerai dans la suite, ainsi qu'on ne gagneroit pas grand-chose si l'on s'arrêtoit trop scrupuleusement à un seul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet soit peu sensible relativement à celui de l'objectif.

Mais quelques peines que m'aient coûté ces recherches, je dois avouer franchement, que je renonce entièrement à présent à la construction des objectifs composés de verres & d'eau; tant à cause de leur exécution trop difficile, que parceque j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, mais de le rendre insensible. J'aurai l'honneur d'entretenir V. A. là-dessus l'ordinaire prochain.

le 27 Mars 1762.

LE T T R E CCXIX.

LORSQUE les télescopes à réflexion sont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction, qu'on devoit croire qu'elles n'auroient plus d'autre sort que d'être rejetées entièrement. Aussi a-t-on dès lors négligé tout-à-fait leur construction, dans

la ferme persuasion que tous les soins qu'on se donneroit pour les perfectionner, seroient inutiles, puisque le grand Newton avoit démontré, que les effets fâcheux de la diverse réfrangibilité des rayons, étoient absolument inséparables de la construction des lunettes.

Suivant ce sentiment, aucunes lunettes ne sauroient nous représenter les objets qu'avec une confusion d'autant plus insupportable, que le grossissement seroit plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuses à cet égard, on en trouve aussi quelquefois de très-bonnes, qui ne cèdent en rien aux télescopes à réflexion tant vantés. C'est sans-doute un très-grand paradoxe; car si ce défaut étoit bien fondé, on ne devroit en trouver aucune qui en fût exemte: par conséquent cette exception dont l'expérience nous assure, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'aprofondir, pourquoi quelques lunettes représentent assez nettement les objets, & que d'autres ne sont que trop assujetties au défaut causé par la différente réfrangibilité des rayons. Je crois en avoir découvert la raison & je vais la proposer à V. A. par les réflexions suivantes.

I. Il est très-certain que le verre objectif représente une infinité d'images de chaque objet, qui se trouvent toutes rangées sur l'espace de diffusion, & dont chacune

est teinte de sa propre couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire, qui représente chacune séparément avec la couleur qui lui est propre, de sorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images disposées dans un certain ordre, selon la réfraction des verres.

III. Et si, au lieu d'un verre oculaire, on en emploie plusieurs, il arrivera toujours la même chose, & au lieu d'une image, la lunette en représentera une infinité à l'œil, ou bien une file d'images, dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particulière.

IV. Considérons donc *Tab. IX. fig. 15.* les dernières images que la lunette offre à l'œil placé en O; & soit Rr l'image rouge, & Vv la violette, celles des autres couleurs se trouvant entre ces deux selon l'ordre de leur différente réfrangibilité. Je n'ai pas indiqué dans cette figure les verres de la lunette, puisqu'il s'agit uniquement de quelle manière l'œil voit les images. Il faut seulement envisager la distance de l'œil O jusqu'à elles comme très-grande.

V. Toutes ces images Rr & Vv avec les moyennes, sont donc situées sur l'axe de la lunette ORV, & terminées par une certaine ligne droite rv, qui est nommée la terminatrice de toutes les images.

- VI. Comme j'ai représenté ces images dans la figure, l'image rouge Rr est vue par l'œil en O sous l'angle ROr , qui est plus grand que l'angle VOv , sous lequel est vue l'image violette Vv . Les rayons violets qui entrent de l'image Vv , dans l'œil, se mêlent donc avec les rouges qui viennent de la partie Rr de l'image rouge Rr .
- VII. Par conséquent, l'œil ne sauroit voir l'image violette sans un mélange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à différens points de l'objet même, ainsi le point n de l'image rouge est confondu dans l'œil avec l'extrémité v de l'image violette, d'où doit naître une grande confusion.
- VIII. Or le rayon rO n'étant point mêlé par d'autres, l'extrémité vue paroîtra rouge, ou bien l'image semblera bordée de rouge qui se mêle ensuite avec les autres couleurs successivement; de sorte que l'objet paroîtra bordé des couleurs d'iris, ce qui est un défaut très commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes sont moins sujettes que d'autres.
- IX. Si la plus grande image Rr étoit la violette & Vv la rouge, la confusion seroit également insupportable, avec cette seule différence que les extrémités de l'objet paroîtroient alors bordées de violet au lieu de rouge.
- X. La confusion dépend donc de la position de la droite terminatrice rv par rapport à la

la ligne VO , & la diversité qui peut y avoir lieu; il en résultera que la confusion sera tantôt plus grande, tantôt plus petite.

XI. Considérons maintenant le cas, où les dernières images représentées par la lunette sont tellement arrangées que la droite terminatrice vr étant prolongée, passe précisément dans l'œil. Alors l'œil verra *Tab. IX. fig. 16.* par un seul rayon vrO toutes les extrémités des images; & en général, tous les points qui répondent à un même point de l'objet, seront portés dans l'œil par un seul rayon; & par conséquent ils y seront représentés distinctement.

XII. Voilà donc le cas, où il peut arriver que, non-obstant la diversité des images, l'œil voie l'objet distinctement, sans que diverses parties en soient confondues ensemble, comme il est arrivé dans le précédent. Cet avantage a donc lieu, lorsque la ligne terminatrice vr étant prolongée, passe par le lieu de l'œil O .

XIII. Comme l'arrangement des dernières images Rr & Vv dépend de la disposition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche, il ne s'agit que d'arranger ces verres, enforte que la ligne terminatrice des dernières images vr passe par l'œil; & les lunettes auxquelles cela arrive, seront toujours excellentes.

le 30 Mars 1762.

L E T T R E C C X X .

EN rassemblant ce que j'ai expliqué jusqu'ici, V. A. conviendra aisément, que c'est une chose bien rare & très-précieuse qu'une lunette excellente à tous égards, & qui ne soit assujettie à aucun défaut; puisqu'il faut avoir égard à tant de circonstances, dont chacune influe très-essentiellement sur la construction des bonnes; comme le nombre des bonnes qualités est considérable, afin qu'aucune n'échape à notre attention, il fera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de V. A.

- I. La première qualité regarde le grossissement, & plus une lunette grossit les objets, plus elle est sans-doute parfaite, pourvû qu'aucune des autres bonnes qualités n'y manque. Or le grossissement se juge par le nombre de fois que le diamètre des objets paroît plus grand qu'à la vue simple: V. A. se souviendra que cela arrive autant de fois dans les lunettes à deux verres, que la distance de foyer du verre objectif surpasse celle de l'oculaire. Dans les lunettes à plusieurs verres ce jugement est plus embarrassé.
- II. La seconde qualité d'une bonne lunette est la clarté. Elle est toujours fort défectueuse, lorsqu'elle représente les objets obscurément,

& comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mesure se règle sur le grossissement. Les artistes ont déterminé que, pour grossir 300 fois, le diamètre de l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces & pour tout autre grossissement à proportion. Or lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif une plus grande ouverture encore.

III. La troisième qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Il faut pour cela que les rayons qui passent par les bords de l'objectif, se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que la distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; desorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres, & si les artistes réussissoient dans leur construction, on seroit en état de racourcir les lunettes très-considérablement pour le même

grossissement. V. A. voudra bien se souvenir à cet égard de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long sur ce sujet.

IV. La quatrième qualité regarde aussi la netteté ou la pureté de la représentation, en tant qu'elle est troublée par la diverse réfrangibilité des rayons de différentes couleurs. J'ai fait voir de quelle manière il est possible de remédier à cet inconvénient ; & comme il est impossible que les images formées par les différens rayons soient réunies dans une seule, il s'agit d'arranger les verres de la manière que j'ai expliquée dans ma lettre précédente, c'est-à-dire, que la ligne terminatrice des dernières images, passe par l'œil. Sans quoi la lunette aura le défaut de représenter les objets environnés des couleurs d'iris, & ce défaut s'évanouit quand on arrange les verres de la manière démontrée. Or il faut pour cet effet employer plus de deux verres, afin de pouvoir les arranger comme il faut. Je n'ai parlé jusqu'ici que des lunettes composées de deux verres, dont l'un est l'objectif & l'autre l'oculaire, & V. A. fait que leur éloignement est déjà déterminé par les distances des foyers, de sorte qu'on n'est plus maître d'y rien changer. Cependant il arrive, heureusement, que la ligne terminatrice, dont j'ai parlé, passe à-peu-près par le lieu de l'œil, de sorte que le défaut des couleurs d'iris est presque insensible,

pourvu qu'on ait remédié au défaut précédent, sur-tout quand le grossissement n'est pas très-grand. Mais, dans les grossissemens considérables, il est bon d'employer deux verres oculaires, pour anéantir entièrement les couleurs d'iris; puisque, dans ce cas, les moindres défauts étant également grossis, deviennent insupportables.

V. La cinquième & dernière bonne qualité des lunettes, est un grand champ apparent, soit l'espace que la lunette nous découvre à la fois. V. A. se souvient que les petites lorgnettes de poche, à un oculaire concave, ont le défaut d'un champ trop petit, qui les rend incapables de grossir beaucoup. L'autre espèce à oculaire convexe, est moins sujette à ce défaut, mais comme elle représente les objets renversés, les lunettes de la première espèce seroient bien préférables, si elles nous découvroient un plus grand champ, qui dépend de l'ouverture du verre oculaire; & V. A. comprend assez qu'on ne sauroit augmenter cette ouverture à volonté, puisqu'elle est déterminée par sa distance de foyer. Or en employant deux ou trois ou même plusieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand; & c'est une nouvelle raison d'employer plusieurs verres, pour construire des lunettes qui soient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités, on pourroit encore

ajouter celle-ci, que la représentation ne soit pas renversée, comme dans les lunettes astronomiques: mais il est aisé de remédier à ce défaut, si c'en est un, en ajoutant encore deux verres oculaires comme je l'exposerai dans ma première lettre.

le 3 Avril 1762.

LETTRE CCXXI.

JE me suis arrêté bien long-tems aux lunettes composées de deux verres convêxes, qui sont connues sous le nom de tubes astronomiques, parcequ'on s'en sert communément pour observer les étoiles.

V. A. comprendra aisément que l'usage de ces instrumens, quelque excellens qu'ils soient, se borne uniquement au ciel, parcequ'ils représentent les objets dans une situation renversée, ce qui devient fort désagréable lorsqu'on veut contempler des objets terrestres, que nous voudrions voir dans leur situation naturelle; mais après la découverte de cette espèce de lunettes, on a bien vite trouvé moyen d'y remédier, en doublant, pour ainsi dire, la même lunette. Car puisque deux verres renversent les objets, ou représentent leurs images renversées, en joignant une lunette pareille à celle-ci pour regarder les mêmes images, elles seront renversées encore une fois, & cette seconde représen-

tation nous offrira les objets debout. De-là naît une nouvelle espèce de lunettes, composées de quatre verres, qu'on nomme lunettes terrestres, puisqu'elles sont destinées à contempler les objets terrestres. Voici leur construction, *Tab. IX. fig. 10.*

- I. Les quatre verres A, B, C, D, enchassés dans le tuyau MMNN représentent la lunette en question, dont le premier A dirigé vers les objets est nommé l'objectif, & les trois autres B, C, D, les oculaires. Ces quatre verres sont convexes, & l'œil doit être placé au bout du tuyau à une certaine distance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la suite.
- II. Considérons les effets que chaque verre doit produire, quand l'objet Oo, qu'on regarde par la lunette, se trouve à une distance fort grande; le verre objectif représentera d'abord l'image de cet objet en Pp à la distance de son foyer, dont la grandeur est déterminée par la ligne droite tirée de l'extrémité o, par le milieu du verre A; cette ligne n'est pas exprimée dans la figure, pour ne pas trop la charger de lignes.
- III. Cette image Pp tient lieu de l'objet par rapport au second verre B, qu'on place de manière que l'intervalle BP soit égal à sa distance de foyer; afin que la seconde image en soit transportée à l'infini comme en Qq, qui sera renversée comme la première

- Pp , & terminée par la ligne droite tirée du milieu du verre B, par l'extrémité p .
- IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres AB, est donc égal à la somme de leurs distances de foyer; & si l'on tenoit l'œil derrière le verre B on auroit une lunette astronomique par laquelle on verroit l'objet Oo en Qq , & conséquemment renversé & grossi autant de fois, que la distance AP surpasse la distance BP . Mais au lieu de l'œil, on place derrière le verre B, à quelque distance, le troisième verre C, par rapport auquel l'image Qq tient lieu de l'objet, puisqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Qq , qui se trouvant à une très-grande distance, le verre C en représentera l'image à sa distance de foyer en Rr .
- V. L'image Qq étant à rebours, celle Rr fera debout, & terminée par la ligne droite qu'on tireroit de l'extrémité q par le milieu du verre C, qui passeroit par le point r . Par conséquent les trois verres A, B, C ensemble, représentent l'objet Oo en Rr , & cette image Rr est debout.
- VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle DR soit égal à sa distance de foyer; ce verre éloignera encore l'image Rr à l'infini, comme en Ss , dont l'extrémité s sera déterminée par la ligne droite qu'on tireroit du milieu du verre D, par l'extrémité r , & l'œil placé derrière ce ver-

re, verra effectivement l'image Ss au lieu du véritable objet Oo .

VII. De-là il est aisé de juger combien de fois cette lunette composée de quatre verres, doit grossir les objets; on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres, AB & CD , dont chacune, séparément, feroit une lunette astronomique. La première paire de verres A & B grossit autant de fois, que la distance de foyer du premier verre A surpasse celle du second verre B ; & c'est autant de fois que l'image, qui en est formée, Qq , est plus grande que le véritable objet Oo .

VIII. Ensuite cette image Qq tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C & D , elle sera encore multipliée autant de fois, que la distance du verre C surpasse celle du verre D . Ces deux grossissemens joints ensemble, fournissent le vrai grossissement que les quatre verres produisent.

IX. Si donc la première paire de verres A & B grossissoit 10 fois, & l'autre paire de verres C & D trois fois; la lunette grossiroit 3 fois 10 fois, c'est-à-dire, trente fois les objets; & l'ouverture du verre objectif A , doit répondre à ce grossissement, selon la règle que j'ai établie ci-dessus.

X. V. A. voit donc, que si l'on ôte d'une lunette terrestre les deux derniers verres C & D , on aura une lunette astronomique, & que les deux verres C & D en feront une

aussi , de sorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques ; & réciproquement, deux lunettes astronomiques jointes ensemble en produisent une terrestre.

Cette construction est susceptible d'une infinité de variations, les unes préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite.

le 6 Avril 1762.

LETTRE CCXXII.

V. A. vient de voir comment, en ajoutant deux verres convêxes à une lunette astronomique, il en résulte une lunette terrestre qui nous représente les objets debout. Les quatre verres, dont une lunette terrestre est composée, sont susceptibles d'une infinité d'arrangemens différens, tant par rapport à leurs distances, qu'à leurs foyers. Je vais expliquer *Tab. X. fig. 1.* les plus essentiels.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déjà remarqué que celle des deux premiers verres AB est la somme de leurs distances de foyers, de même que celle des deux derniers verres CD, chaque paire pouvant être regardée comme une lunette simple, compo-

- fée de deux verres convêxes. Mais quelle doit être la distance entre les deux verres du milieu BC ? Peut-elle être laissée à notre bon plaisir ? Puisque , soit qu'on la prenne grande ou petite , le grossissement , toujours composé des deux que chaque paire produiroit séparément , demeure le même.
- II. En consultant l'expérience , on appercevra bientôt , qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu , le champ apparent s'évanouît presque tout-à-fait , & c'est ce qui arrive encore quand on les éloigne trop. Dans l'un & l'autre cas , vers quelque'objet qu'on dirige la lunette , on n'en découvre qu'une très-petite partie.
- III. C'est pourquoi les artistes approchent ou éloignent la dernière paire de verres de la première , jusqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ , & ne fixent les verres qu'après avoir trouvé cette situation. Or ils ont observé que , dans cet arrangement le plus avantageux , la distance des verres du milieu BC , est toujours plus grande que la somme des distances de foyer de ces mêmes verres.
- IV. V. A. jugera aisément que cette distance ne dépend point du hazard , mais qu'elle tire sa détermination de la théorie , & cela beaucoup plus exactement que par la seule expérience. Comme c'est le devoir d'un physicien de rechercher la cause de tous les phénomènes que l'expérience nous décou-

vre, je vais donc exposer les vrais principes qui nous fournissent la distance la plus avantageuse BC entre les deux verres du milieu. Voyez *Tab. X. fig. 2.*

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, considérons la route de celui qui, venant de l'extrémité o de l'objet visible, passe par le milieu A du verre objectif: car si ce rayon n'est pas conduit dans l'œil, cette extrémité o ne sera pas visible: or ce rayon ne souffre aucune réfraction dans le verre objectif, parcequ'il passe par son milieu A ; il continuera donc sa route en ligne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera à son extrémité b , puisque c'est le dernier rayon transmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le second verre changera de route, enforte qu'il rencontrera quelque part en n l'axe des verres; ce qui arriveroit dans son foyer, si le rayon Ab avoit été parallèle à l'axe; mais puisqu'il sort du point A , sa réunion avec l'axe en n sera plus éloignée du verre B , que sa distance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troisième verre C enforte que le rayon, après avoir traversé l'axe en n , le rencontre précisément à son extrémité e ; d'où l'on voit que plus l'ouverture de ce verre C est grande, plus on doit le reculer du verre B , & plus la distance BC devient grande; mais de l'au-

tre côté, il faut bien se garder d'éloigner le verre C au-delà, puisqu'alors le rayon lui échapperait & n'en feroit plus transmis; c'est donc cette circonstance qui détermine la juste distance entre les deux verres du milieu BC, conformément à l'expérience.

VIII. Ce verre C produira une nouvelle réfraction dans notre rayon, qui doit le conduire précisément à l'extrémité *d* du dernier oculaire D, qui, plus petit que C, rendra la ligne *cd* un peu convergente vers l'axe, & souffrira ainsi dans le dernier verre une réfraction telle, qu'il en est réuni avec l'axe à moins de distance que son foyer; & c'est là précisément qu'il faut placer l'œil, pour recevoir tous les rayons transmis par les verres, & y découvrir le plus grand champ.

IX. On est en état par ce moyen de se procurer un champ, dont le diamètre est presque deux fois plus grand que dans les lunettes astronomiques du même grossissement. On obtient donc par ces lunettes à quatre verres, l'avantage que les objets sont représentés debout, & celui d'un plus grand champ; ce qui est d'une très-grande conséquence.

X. Enfin il est possible de trouver un arrangement entre ces quatre verres tel, que sans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouissent entièrement, & que les objets y sont représentés avec la plus grande

netteté. Mais peu d'artistes sont capables d'atteindre à ce degré de perfection.

le 10 Avril 1762.

LETTRE CCXXIII.

APRÈS ces recherches sur la construction des lunettes, je dois rendre compte à V. A. de quelques précautions très-nécessaires qui, quoiqu'elles ne regardent ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laissent pas d'être de la plus grande importance, desorte que, si l'on ne les observe pas très-soigneusement, la meilleure lunette devient tout-à-fait inutile. Il ne suffit pas d'arranger les verres de façon que tous les rayons qui y tombent, soient transmis au travers de ces verres dans l'œil, il faut outre cela empêcher que les rayons étrangers ne soient aussi transmis par la lunette, afin qu'ils ne troublent point la représentation. Il faut donc prendre les précautions suivantes.

- I, Les verres, dont une lunette est composée, doivent être enfermés dans un tuyau, afin que point d'autres rayons que ceux qui sont transmis par l'objectif, ne puissent parvenir aux autres verres. Pour cet effet le tuyau doit être bien fermé partout, afin

qu'aucune lumière ne puisse y entrer par quelque fente. S'il arrive par quelqu'accident que les tuyaux soient percés d'un trou, la lumière étrangère qui y entre, étoufferoit la représentation des objets.

II. Il est aussi fort important que l'intérieur du tuyau soit bien noirci partout, & même d'un noir très-foncé, puisqu'on fait que la couleur noire ne réfléchit point de rayons, quelque forte que soit la lumière qui y tombe. Aussi V. A. aura déjà observé, que les tuyaux de lunettes sont noircis en-dedans. Une seule réflexion en fera voir la nécessité.

III. L'objectif *Tab. X. fig. 3.* ne transmet pas seulement les rayons des objets que la lunette nous représente, mais aussi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance, tel est le rayon *ba* qui tombe en-dedans sur le parois du tuyau en *i*; si donc le tuyau étoit blanc ou d'une autre couleur en-dedans il en feroit éclairé, & engendreroit par lui-même de nouveaux rayons de lumière, qui ne manqueroient pas de traverser les autres verres, & de troubler la vision en se mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais si l'intérieur du tuyau est teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons quelque'éclairé qu'il puisse être. Cette noirceur est nécessaire par toute la longueur du tuyau, puisqu'il n'y a point

de noir si foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque foible lumière, ainsi, quand même quelques rayons étrangers passeroient par le second verre B, le noir du tuyau suivant les éteindroit aisément tout-à-fait. Il y a aussi un noir brillant, dont il faut bien se garder de se servir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'est pas suffisante, on est encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour arrêter d'autant mieux la fausse lumière; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette doit nous représenter. Voyez la *fig. 4. Tab. X.*

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets se trouvent le plus rétrécis dans le tuyau; ce qui arrive dans le lieu où les images y sont représentées; puisque les rayons sont tous réunis là ensemble. Or le verre objectif A représente l'image dans son foyer en M, on n'a donc qu'à estimer la grandeur de cette image & y mettre un diaphragme dont le trou *mm* lui soit égal, ou tant soit peu plus grand. Car si le trou étoit plus petit que l'image, on perdrait sur le champ apparent, ce qui seroit un grand défaut.

VII. C'est donc ce qu'il y auroit à observer sur le diaphragme dans les lunettes astronomiques composées de deux verres convexes.

Dans

Dans les lunettes terrestres il se trouve deux images représentées dans le tuyau ; outre la première en M représentée par l'objectif dans son foyer , & que le second verre B transporte à l'infini , le troisième verre C représente encore une image dans son foyer N qui est debout , celle-la étant renversée. C'est donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn* de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes avec le noir de l'intérieur du tuyau produisent aussi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien observer , que plus le champ que la lunette découvre est grand , moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes , puisqu'alors les images deviennent plus grandes , de sorte que les trous des diaphragmes doivent être si grands , qu'ils ne sauroient plus arrêter les faux rayons. Mais il faut alors d'autant plus soigneusement bien noircir l'intérieur du tuyau , & le faire plus large , ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

le 13 Avril 1762.

L E T T R E C C X X I V .

J E ne doute pas que V. A. ne soit fort aise de se voir enfin délivrée de la fêche théorie des lunettes, qui n'a presque d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur secours.

Quelle surprise n'éprouve-t-on pas de voir les objets fort éloignés, aussi bien que s'ils étoient cent & plusieurs fois plus près de nous, sur-tout lorsqu'il nous est impossible d'en approcher, comme il arrive par rapport aux objets célestes! & V. A. tombera aisément d'accord, qu'à l'aide des lunettes, on a dû découvrir dans les étoiles des choses bien merveilleuses.

En voyant la lune cent fois plus proche qu'elle n'est effectivement, on peut y observer des inégalités très-curieuses, comme des vallées & des hauteurs excessives, qui ressemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages construits à dessein qu'à des montagnes. L'on en tire un argument bien fort, pour prouver que la lune est habitée par des créatures raisonnables, quoique la seule contemplation de la toute-puissance, jointe à la souveraine sagesse & bonté du créateur nous en fournisse de plus convaincans.

C'est ainsi qu'on a fait les découvertes les plus importantes sur les planètes qui, à la simple vue, ne paroissent que des points lu-

mineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, & paroissent même beaucoup plus grandes encore.

V. A. ne sera pas peu surprise, quand j'aurai l'honneur de l'assurer qu'avec la meilleure lunette, qui grossit plus de 200 fois, les étoiles fixes ne laissent pas de nous paroître comme des points, & même plus petites encore qu'à la vue simple; ce qui est d'autant plus surprenant, qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions, si nous en étions 200 fois plus près. Ne devoit-on pas en conclure que les lunettes perdent leur qualité à cet égard? Mais cette idée s'évanouit bientôt, quand on considère qu'elles nous découvrent des millions de petites étoiles qui échapperoient entièrement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands; & deux étoiles qui, à la vue simple, paroissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette, pour que l'on remarque entr'elles une distance considérable, ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes nous paroissent plus petites à travers qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord que les étoiles fixes nous paroissent plus grandes à la vue simple qu'elles ne devroient, & que cela vient d'une fausse lumière qui s'y joint, causée par

leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fonds de l'œil sur la rétine, nos nerfs n'en sont frappés que dans un point, mais par l'éclat de la lumière, les nerfs voisins en sont aussi ébranlés, & produisent le même sentiment que l'on éprouveroit si l'image de l'objet dépeint sur la rétine, étoit beaucoup plus grande. C'est ce qui arrive quand nous regardons de nuit une lumière fort éloignée. Elle nous paroît beaucoup plus grande, & même plus que si nous la voyons de près; cet aggrandissement n'est causé que par une fausse lueur. Or plus une lunette grossit, plus cet accident doit diminuer, tant parceque les rayons souffrent quelque affoiblissement, que parceque la véritable image sur le fonds de l'œil devient plus grande: desorte que ce n'est plus un seul point qui soutient toute l'impression des rayons. Ainsi, quelque petites que nous paroissent les étoiles à travers une lunette, on peut prononcer hardiment, qu'à la vue simple, elles nous paroïtroient encore beaucoup plus petites sans cette fausse lumière accidentelle, & cela autant de fois que la lunette grossit.

Il s'ensuit de-là que, puisque les étoiles fixes ne paroissent que comme des points, malgré qu'elles soient grossies 200 fois, leur éloignement doit être exorbitant. Il sera fort aisé à V. A. de comprendre comment on peut estimer cette distance. Le diamètre du soleil nous paroît sous un angle de 32 minutes:

si donc le soleil étoit 32 fois plus éloigné, il paroîtroit sous un angle d'une minute, & ainsi, beaucoup plus grand encore qu'une étoile vue par la lunette, dont le diamètre n'excède pas deux secondes ou la trentième partie d'une minute. Il faudroit donc que le soleil fût encore 30 fois plus, c'est-à-dire, 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe observée avec le secours de la lunette. Or les étoiles sont 200 fois plus éloignées de nous que la lunette ne nous les représente, & conséquemment le soleil devroit être 200 fois 960, c'est-à-dire, 192000 fois plus éloigné qu'il n'est, avant que de ne pas nous paroître plus grand qu'une étoile fixe. Par conséquent, si les étoiles fixes étoient des corps aussi grands que le soleil, leurs distances feroient 192000 fois plus grandes que celle du soleil: si elles étoient encore plus grandes, leurs distances devroient être encore autant de fois plus grandes, & en les supposant même plusieurs fois plus petites, leurs distances devroient toujours être plus de mille fois plus grandes que celle du soleil. Or la distance du soleil est environ de 15,000,000 milles d'Allemagne.

V. A. ne concevra pas sans-doute, sans le plus grand étonnement, cette distance prodigieuse des étoiles fixes, & l'étendue entière du monde. Quelle doit être la puissance de celui qui a créé cette immensité, & qui en

est le maître absolu? Adorons-le avec la plus profonde soumission.

le 17 Avril 1762.

LETTRE CCXXV.

V. A. aura bien déjà remarqué que, lorsque la lune se lève, ou se couche, elle nous paroît beaucoup plus grande que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel: & tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même observation par rapport au soleil. Cette apparence a toujours embarrassé les philosophes, & de quelque manière qu'on l'envisage, on rencontre des difficultés presque insurmontables.

Il seroit ridicule de vouloir en conclure que le corps de la lune soit en effet plus grand lorsqu'elle paroît dans l'horizon, que lorsqu'elle est plus élevée. Car, outre que cette idée seroit absurde en elle-même, il faut considérer que, quand la lune nous paroît à l'horizon, elle paroît à d'autres habitans de la terre plus élevée & ainsi plus petite. Or il est impossible que le même corps soit, en même tems, plus grand & plus petit.

Il seroit presque aussi ridicule d'expliquer cet étrange phénomène, en supposant que la lune soit plus près de nous lorsqu'elle nous pa-

roit dans l'horizon, que quand elle est fort élevée, par la certitude qu'un corps nous paroît d'autant plus grand qu'il est plus proche de nous, & V. A. fait que plus un objet est éloigné, plus il nous paroît petit. C'est précisément par cette raison que les étoiles nous paroissent si extrêmement petites, quoique leur véritable grandeur soit prodigieuse.

Mais toute probable que semble cette idée, elle ne sauroit avoir lieu. Il y a même plus de certitude que la lune est plus éloignée de nous lorsqu'elle se lève ou qu'elle se couche, que lorsqu'elle est plus élevée : en voici la démonstration, *Tab. X. fig. 5.*

Soit le cercle ABD la terre, & que la lune se trouve en L. Cela posé, un habitant en A verra la lune dans son zénith, ou au plus haut point du ciel. Or un autre habitant en D, où la ligne DL frise la surface de la terre, verra la lune en même tems dans son horizon, desorte que la lune paroîtra en même tems au spectateur A dans son zénith, & à l'autre spectateur D dans son horizon. Mais il est clair que la dernière distance DL est plus grande que la première AL, & par conséquent la lune est plus éloignée de ceux qui la voyent à l'horizon, que de ceux qui la voyent près de leur zénith. Il s'ensuit ouvertement de-là, que la lune étant vue à l'horizon devoit nous paroître plus petite, puisqu'elle est effectivement plus éloignée de nous, que lorsqu'elle est fort élevée. Il y a donc

à s'étonner que nous observions précisément le contraire, & que la lune nous paroisse beaucoup plus grande, quand nous la voyons près de l'horizon, qu'au milieu du ciel.

Plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, & plus il mérite notre attention : puisqu'il est certain que la lune étant plus éloignée à l'horizon devrait nous paroître plus petite, & que cependant tout le monde soutient unanimement qu'elle paroît alors considérablement plus grande. Cette contradiction est évidente, & semble même renverser tous les principes établis dans l'optique, qui néanmoins sont aussi bien démontrés que ceux de la géométrie.

Je crois avoir mis dans tout son jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'autant mieux sentir à V. A. l'importance du véritable dénouement de cette grande difficulté. Sans entrer dans l'examen de ce jugement général de tous les hommes sur la prodigieuse grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la question principale : s'il est vrai que la lune étant près de l'horizon, nous paroît effectivement plus grande ?

V. A. fait qu'on a des moyens très-sûrs de mesurer exactement les diamètres des corps célestes, en assignant le nombre des degrés & des minutes qu'ils occupent dans le ciel : ou ce qui revient au même, en mesurant *Tab. X. fig. 6.* l'angle EOF que forment les lignes

EO & FO tirées des bouts opposés de la lune, à l'œil du spectateur O : & cet angle EOF est ce qu'on nomme le diamètre apparent de la lune. On a aussi des instrumens très-propres à déterminer exactement cet angle ; or quand on s'en sert pour mesurer le diamètre de la lune , d'abord à son lever & ensuite lorsqu'elle est montée bien haut dans le ciel , on trouve effectivement son diamètre un peu plus petit dans le premier cas que dans l'autre , comme l'inégalité des distances l'exige. Il n'y a aucun doute à former sur cet article ; mais , par la même raison , notre difficulté au lieu de diminuer augmente , & l'on demandera avec d'autant plus d'empressement , pourquoy tout le monde juge la lune plus grande à son lever & à son coucher quoique son diamètre apparent soit alors effectivement plus petit ? Et quelle est la raison de cet éblouissement général chez tous les hommes. L'astronome , qui fait parfaitement que le diamètre apparent de la lune est plus petit alors , s'y trompe comme le paysan le plus ignorant.

le 20 Avril 1762.

L E T T R E C C X X V I.

V. A. n'auroit pas cru que la simple apparition de la lune fût assujettie à tant de difficultés; mais j'espère de les applanir par les réflexions suivantes.

I. Il n'est pas étonnant que notre jugement sur la grandeur des objets ne soit pas d'accord avec l'angle visuel sous lequel nous les voyons : l'expérience journalière nous en fournit assez de preuves. Un chat, par exemple, se présente devant moi sous un angle plus grand qu'un bœuf à la distance de 100 pas. Cependant je ne m'aviserai pas de juger le chat plus grand que le bœuf : & V. A. voudra bien se souvenir que notre jugement sur la grandeur des choses est toujours très-intimement lié avec celui de la distance; desorte que si nous nous trompons dans l'estime de la distance, notre jugement sur la grandeur devient nécessairement faux.

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois qu'une mouche passant subitement devant nos yeux, sans que nous y pensions, si notre vue est fixée sur des objets éloignés, nous imaginons d'abord que la mouche est fort éloignée de nous, & comme elle nous paroît sous un angle assez considérable, nous la prenons au premier instant pour un gros oiseau qui, dans l'éloignement, nous paroitroit

sous le même angle. Il est donc incontestable que notre jugement sur la grandeur des objets ne se règle point sur l'angle visuel sous lequel ils sont vus, & qu'il y a une très-grande différence entre la grandeur apparente des objets & la grandeur jugée ou estimée : la première se règle sur l'angle visuel, & l'autre dépend de la distance à laquelle nous jugeons que les objets sont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque, j'observe que nous ne devrions pas dire, que nous voyons la lune plus grande à l'horizon, qu'à une hauteur considérable. Cela est absolument faux, & nous la voyons même tant soit peu plus petite. Mais pour parler exactement, il faut dire que nous jugeons & estimons la lune plus grande, lorsqu'elle se trouve dans l'horizon : & cela est vrai au pied de la lettre, du consentement unanime de tout le monde. Cette remarque suffit pour dissiper la contradiction rapportée ci-dessus ; & rien n'empêche que la lune à son lever ou à son coucher ne puisse être jugée ou estimée plus grande, quoiqu'elle soit vue sous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi nous voyons la lune plus grande à l'horizon ; ce qui seroit impossible, puisqu'elle nous paroît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la mesure de l'angle visuel. La difficulté se réduit donc à cette question : pourquoi jugeons - nous, ou esti-

mons-nous la lune plus grande alors ? Ou plutôt il faut rendre raison de cette estime bizarre. La chose n'est plus surprenante en elle-même , puisque nous connoissons mille cas où nous jugeons des objets fort grands , malgré que nous les voyons sous de très - petits angles.

V. Nous n'avons donc qu'à dire que, lorsque la lune se lève ou se couche , nous la jugeons plus éloignée de nous , que lorsqu'elle est montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette estime , quelle qu'en puisse être la cause , il s'ensuit nécessairement que nous devons aussi juger la lune d'autant plus grande. Car toujours , plus nous estimons qu'un objet est éloigné , plus nous présumons qu'il est grand , & cela précisément dans le même rapport. Dès que je m'imagine par quelque illusion que ce soit , qu'une mouche qui passe devant mes yeux se trouve à la distance de 100 pas , je suis obligé , presque malgré moi , de la juger autant de fois plus grande , que 100 pas surpassent la véritable distance de la mouche à mes yeux.

VII. Nous voilà donc réduits à une nouvelle question : pourquoi estimons-nous la lune plus éloignée de nous , lorsqu'elle se trouve dans l'horizon ? Et pourquoi cette illusion est-elle si générale , que personne n'en est exempt ? Car l'illusion de s'imaginer que la lune soit alors beaucoup plus éloignée de nous est bien étrange. Il est bien vrai que la lune

est en effet alors un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente, mais la différence est si petite qu'elle ne sauroit être sensible. D'ailleurs, le soleil, quoiqu'à 100 fois plus éloigné que la lune, ne nous paroît pas tel, & notre vue rapporte même les étoiles fixes presque à la même distance.

VII. Ainsi, quoique la lune étant à l'horizon soit effectivement un peu plus éloignée, cette circonstance n'entre pour rien dans la question présente, & cette estime universelle par laquelle tout le monde juge alors la lune à plus de distance qu'elle n'est réellement, doit être fondée sur des raisons tout-à-fait différentes, & capables d'éblouir tout le monde. Car puisque cette estime est indubitablement fautive, il faut que les raisons qui nous y déterminent, soient bien frappantes.

VIII. Plusieurs philosophes, pour expliquer ce phénomène, ont soutenu que la raison en étoit, que nous découvrons beaucoup d'objets entre nous & la lune, comme des villes, des villages, des forêts & des montagnes, ce qui est cause, selon eux, qu'elle nous paroît alors beaucoup plus éloignée; au lieu que lorsqu'elle est fort élevée, nous n'observons aucun corps entr'elle & nous; ainsi, disent-ils, elle doit nous paroître plus près. Mais cette explication, quelque ingénieuse qu'elle semble au premier coup d'œil, ne sauroit être admise. En regardant la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets

intermédiaires , elle ne laisse pas de nous paroître plus grande. Outre cela, nous n'estimons pas toujours que les objets , entre lesquels nous découvrons plusieurs autres corps, soient plus éloignés. Une grande salle, par exemple, tout-à-fait vuide, nous paroît ordinairement plus étendue, que si elle est remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous & les murailles.

le 24 Avril 1762.

LETTRE CCXXVII.

Nous voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cette illusion universelle pour tous les hommes, sans exception, que la lune paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, que quand elle est fort élevée. J'ai déjà remarqué que ce phénomène est d'autant plus bizarre, que le diamètre apparent de la lune est même alors tant soit peu plus petit : desorte qu'on devroit dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons telle.

Aussi ai-je observé que, très-souvent, notre jugement difere beaucoup de la vision même. Nous n'hésitons pas, par exemple, de juger qu'un cheval éloigné de 100 pas est plus

grand qu'un chien à un pas de distance ; quoique la grandeur apparente du chien soit sans contredit plus grande, ou, ce qui revient au même, quoique l'image du chien dépeinte au fonds de l'œil, soit plus grande que celle du cheval. Notre jugement dans ces cas a égard à la distance, & jugeant le cheval beaucoup plus éloigné que le chien, nous décidons qu'il est beaucoup plus grand.

Il est donc très vraisemblable que la même circonstance a lieu dans la vision de la lune, & nous fait juger la lune plus éloignée dans l'horizon, que lorsqu'elle est fort élevée. A l'égard du cheval, ce jugement de la distance étoit fondé sur la vérité, mais ici, comme il est absolument faux, c'est une illusion étrange, qui doit pourtant avoir un certain fondement, puisque tout le monde en convient, & qu'on ne fauroit l'attribuer au caprice. En quoi peut-il consister ? C'est ce dont je vais entretenir V. A.

I. Tout le monde se représente le bleu du ciel comme une voute aplatie, dont le sommet est beaucoup plus près de nous que le bas, où elle se confond avec l'horizon. Ainsi, un homme placé sur une plaine AB *Tab. X. fig. 7.* qui s'étend aussi loin que sa vue, apperçoit la voute du ciel ; qu'on nomme communément firmament, sous la figure AEFB, où les distances CA & CB sont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

II. Cette idée est aussi, sans contredit, une très-grande illusion, puisque rien n'est borné ou fermé au-dessus de nous par une telle voute. C'est un vuide d'une étendue immense, puisqu'il va jusqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la distance surpasse toute la force de notre imagination. Je me fers du mot vuide, pour l'opposer aux corps grossiers de la terre. Car, près de la terre, c'est notre atmosphère qui occupe l'espace, & , plus loin, c'est cette matière beaucoup plus subtile qu'on nomme *l'éther*.

III. Cependant, quelque'imaginaire que soit cette voute, elle est très-réelle dans notre imagination, & tous les hommes, savans & idiots, sont dans la même illusion. C'est presque à la surface de cette voute que nous nous représentons le soleil & la lune avec toutes les étoiles, comme des clous brillans qui y sont attachés; & malgré la connoissance que nous avons du contraire, nous ne saurions nous défendre de cette idée illusoire.

IV. Cela posé, lorsque la lune se trouve à l'horizon, notre imagination la rapporte au point A ou B de cette voute prétendue, & c'est par-là que nous estimons alors sa distance d'autant plus grande, que nous jugeons la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand, en montant, elle s'approche du zénith, nous pensons qu'elle
s'ap-

s'approche de nous, & si elle atteignoit le zénith, nous la croirions alors à sa plus petite distance.

V. L'illusion sur la distance entraîne nécessairement celle sur la grandeur. Puisque la lune en A nous paroît beaucoup plus éloignée de C, que dans le zénith, nous sommes en quelque manière forcés d'en conclure, que la lune même est d'autant plus grande; & cela en même raison que la distance CA nous paroît surpasser celle CZ. Tous les hommes ne feront peut-être pas trop d'accord sur cette proportion; l'un dira que la lune lui paroît deux fois plus grande à l'horizon, un autre trois fois, & la plupart se déclareront pour le milieu entre deux & trois; mais tous se réuniront pour la chose même.

VI. Il est à propos de remettre à cette occasion sous les yeux de V. A. la démonstration de cette conséquence: comment le jugement de la grandeur est une suite nécessaire de l'estime de la distance.

Quand la lune est près de l'horizon, nous la voyons *Tab. X. fig. 8.* sous un certain angle, lequel soit MCA, le spectateur étant en C: & quand elle est fort élevée, soit NCD l'angle sous lequel nous la voyons. Il est très-certain que ces deux angles MCA & NCD sont bien à-peu-près égaux entr'eux, la différence étant insensible.

VII. Mais dans le premier cas, puisque nous

estimons la lune beaucoup plus éloignée, soit à la ligne CA , en la rapportant à la voute imaginaire décrite ci-dessus; il s'ensuit que nous estimons le diamètre de la lune égal à la ligne MA . Mais dans l'autre cas la distance de la lune CD nous paroît beaucoup plus petite, & par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA , la grandeur estimée DN fera beaucoup plus petite que AM .

VIII. Pour ne laisser aucun doute sur ceci, on n'a qu'à couper les lignes Cd , Cn égales aux lignes CD & CN , & puisque dans les deux triangles Cdn & CDN les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, & par conséquent la ligne DN sera égale à dn ; or dn est visiblement plus petite que AM & cela autant de fois que la distance cd ou CD est plus petite que CA . V. A. doit donc comprendre clairement ce qui nous fait estimer la lune plus grande à l'horizon que près du zénith.

le 29 Avril 1762.

LETTRE CCXXVIII.

V. A. me reprochera sans-doute, que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre: elle m'objectera

que la voute imaginaire du ciel est aussi inconcevable que l'aggrandissement apparent de la lune & des autres astres près de l'horizon. Cette objection est trop bien fondée, pour que je ne doive pas expliquer à V. A. la véritable raison de ce que le ciel nous paroît sous la forme d'une voute aplatie par le haut. Je vais tâcher de m'en acquiter par les réflexions suivantes.

I. Pour rendre raison de cette voute imaginaire, il faut dire que cela vient de ce que les objets célestes, que nous voyons près de l'horizon, nous paroissent plus éloignés que ceux que nous voyons près du zénith ; & c'est sans-doute une pétition de principe très-formelle, que les logiciens ont droit de rejeter, comme un vice insupportable dans nos raisonnemens. En effet, après avoir dit plus haut que la voute imaginaire du ciel nous fait paroître la lune plus éloignée à l'horizon que près du zénith, il est ridicule de dire, que ce qui nous fait imaginer cette voute, est que les objets horizontaux nous paroissent plus éloignés que les verticaux.

VII. Il n'étoit cependant pas inutile de parler de cette voute imaginaire, quoique nous n'en soyons pas plus avancés pour cela ; & quand j'aurai expliqué pourquoi les objets célestes nous paroissent plus éloignés lorsque nous les voyons près de l'horizon, V. A.

comprendra en même tems la raison de cette double illusion universelle, dont l'une est l'aggrandissement apparent des astres dans l'horizon, & l'autre la voute aplatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les objets célestes vus à l'horizon, nous paroissent plus éloignés que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur considérable : je dis maintenant que c'est parceque ces objets nous paroissent moins brillans : ce qui m'impose la double tâche de montrer, pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, & d'expliquer comment cette circonstance entraîne nécessairement le jugement d'une plus grande distance. J'espère de remplir l'une & l'autre à la satisfaction de V. A.

IV. Le phénomène même ne sauroit être révoqué en doute. Quelque grand que soit vers midi l'éclat du soleil, que personne ne sauroit fixer alors, V. A. fait que le matin & le soir lorsqu'il se lève ou qu'il se couche, on peut le regarder sans en avoir la vue incommodée; & la même chose arrive par rapport à la lune & à toutes les étoiles, dont l'éclat est extrêmement affoibli dans le voisinage de l'horizon. Aussi ne voit-on pas les plus petites étoiles quand elles ne sont que peu élevées au-dessus de l'horizon, tandis qu'on les voit assez distincte-

ment lorsqu'elles sont parvenues à une certaine hauteur.

V. Ce fait suffisamment constaté, il s'agit de découvrir la cause de cet affoiblissement de lumière. Il est assez clair que nous ne saurions la chercher que dans la nature de notre atmosphère, soit l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'est pas parfaitement transparent. Car s'il l'étoit, desorte que tous les rayons y fussent transmis sans souffrir aucune diminution, il n'est pas douteux que les étoiles devroient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles se trouvaissent.

VI. Mais l'air, matière beaucoup moins déliée & moins subtile que l'éther dont la transparence est parfaite, est toujours chargé de particules hétérogènes qui s'y élèvent de la terre, telles que les exhalaisons & les vapeurs, & qui sont nuisibles à sa transparence; en sorte que si quelque rayon rencontre une telle particule, il en est intercepté & presque éteint. Aussi est-il évident que, plus l'air est chargé de ces particules qui sont des obstacles à la transmission de la lumière, plus les rayons doivent s'y perdre; & V. A. fait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air de presque toute sa transparence, tellement que, souvent, on ne peut plus distinguer les objets à trois pas de distance.

VII. Que les points marqués dans la *fig. 9.*

Tab. X. représentent de telles parcelles parfemées dans l'air, dont le nombre est plus ou moins grand, selon que l'air est plus ou moins ferein. Il est évident que plusieurs des rayons qui traversent cet espace doivent se perdre, & que la perte fera d'autant plus grande, que le trajet qu'ils ont à parcourir dans cet air, fera grand. Nous voyons donc que les objets éloignés deviennent invisibles dans un brouillard, pendant que ceux qui sont fort près de l'œil sont encore apperçus, parceque les rayons des premiers rencontrent en chemin un plus grand nombre de parcelles qui les arrêtent.

VIII. Il faut en conclure que, plus le trajet que les rayons des astres ont à faire dans l'atmosphère pour parvenir à nos yeux est long, plus leur perte soit affoiblissement doit être considérable. V. A. n'aura plus là-dessus le moindre doute. Il reste donc simplement à prouver, que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon, ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmosphère, que lorsqu'elles se trouvent plus près de notre zénith. V. A. comprendra sûrement alors, pourquoi les astres paroissent beaucoup moins brillans près de l'horizon, à leur lever & à leur coucher. Ce sera le sujet de la lettre suivante.

le 1 Mai 1762.

L E T T R E CCXXIX.

CE que je viens d'avancer, que les rayons des astres qui se trouvent à l'horizon ont plus de chemin à parcourir dans notre atmosphère, paroîtra peut-être bien paradoxe à V. A. vu que l'atmosphère s'étend par-tout à la même hauteur, desorte qu'en quelque lieu que se trouve une étoile, ses rayons doivent toujours pénétrer de toute sa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. J'espère que les réflexions suivantes dissiperont ses doutes.

I. Il faut d'abord se former une idée juste de l'atmosphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur *ABCD* *Tab. X. fig. 10.* représente la terre, & l'extérieur ponctué *abcd* termine l'atmosphère. Remarquons que, par-tout, à mesure que l'air s'élève au-dessus de la surface de la terre, il devient toujours plus subtil & plus rare : desorte qu'il se perd enfin insensiblement avec l'éther qui remplit tous les espaces célestes.

II. L'air le plus grossier, le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumière, se trouve par-tout en bas près de la surface de la terre. Il devient donc plus rare en montant, moins nuisible à la lumière ; & il est déjà si subtil à la hauteur d'un mille d'Allemagne qu'il ne sauroit plus causer de perte sensible à la lumière. On peut donc fixer la

distance entre le cercle intérieur & extérieur d'environ un mille, tandis que le demi-diamètre de la terre en contient environ 860 : de sorte que la hauteur de l'atmosphère est fort peu de chose relativement à la grandeur du globe de la terre.

III. Considérons maintenant *Tab. X. fig. II.* un spectateur en A sur la surface de la terre ; & tirant du centre de la terre G par A la ligne GZ elle sera dirigée vers le zénith du spectateur. La ligne AS, qui y est perpendiculaire & qui touche la terre, sera horizontale pour lui. Conséquemment, il verra une étoile en Z dans le zénith ou au sommet du ciel, mais une étoile en S lui paroîtra dans l'horizon à son lever ou à son coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions chaque étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pu l'exprimer dans la figure.

IV. V. A. n'a qu'à jetter les yeux sur cette figure, elle verra que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmosphère, que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le spectateur en A. Ceux de l'étoile Z n'ont qu'à traverser la hauteur de l'atmosphère aA qui est à-peu-près d'un mille, & ceux de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin bA , visiblement beaucoup plus long ; & si la figure pouvoit mieux répondre à la vérité, de sorte que le rayon GA fût 860 fois plus long que la hauteur Aa , on verroit que la distance Ab surpasseroit 40 milles.

V. Aussi est-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit espace à parcourir par la basse atmosphère, qui est la plus chargée de vapeurs, au lieu que les rayons de l'étoile S y font un trajet très-considérable, & sont obligés de ramper, pour ainsi dire, sur la surface de la terre. Il est donc très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne souffrent presque qu'aucun affoiblissement, & que ceux de l'étoile S doivent être presque éteints, à cause du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air grossier.

VI. Il est donc incontestable que les astres que nous voyons à l'horizon, doivent paroître avec un éclat extrêmement affoibli. Et V. A. comprendra fort aisément pourquoi nous pouvons fixer sans peine les yeux sur le soleil levant ou couchant, tandis qu'à midi, que le soleil est haut, son éclat est insupportable. Voilà le premier article que je m'étois proposé de démontrer : il me reste à prouver l'autre ; savoir, que c'est l'affoiblissement de la lumière qui nous force presque à nous représenter les corps célestes comme beaucoup plus éloignés de nous, que si nous les voyons dans leur éclat.

VII. Il faut en chercher la raison dans les objets terrestres que nous voyons tous les jours, & sur la distance desquels nous formons un jugement. Mais par la même raison que les rayons, en passant par l'air, souf-

frent quelque'affoiblissement, il est clair que, plus un objet est éloigné de nous, plus il perd de sa clarté, & plus il en perd plus il nous paroît obscur. Ainsi une montagne fort éloignée nous paroît très-sombre, mais si nous en approchons assez, nous distinguons facilement les arbres, ce qui n'est pas possible à un grand éloignement.

VIII. Cette observation si générale qui ne nous trompe jamais dans les objets terrestres, a produit en nous, dès notre jeunesse, ce principe fondamental par lequel nous jugeons les objets d'autant plus éloignés, que les rayons qui nous en viennent ont été affoiblis. C'est donc en vertu de ce principe que nous estimons la lune beaucoup plus éloignée de nous à son lever ou à son coucher, que quand elle a déjà atteint une hauteur considérable; & par la même raison, nous la jugeons d'autant plus grande. Je me flatte que V. A. trouvera ces raisons parfaitement bien fondées, & ce phénomène bizarre aussi bien éclairci qu'il soit possible.

le 4 Mai 1762.

LETTRE CCXXX.

LE principe de notre imagination, par lequel je viens d'expliquer ce phénomène de la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au

milieu du ciel, est tellement enraciné dans notre esprit, qu'il est la source de mille autres illusions, dont je me contenterai de mettre quelques-unes sous les yeux de V. A.

Dès notre jeunesse, nous nous sentons entraînés comme malgré nous, à juger les objets d'autant plus éloignés, que leur éclat est plus affoibli: &, d'un autre côté, les objets fort brillans nous paroissent plus proches qu'ils ne le sont. Cette illusion ne peut venir que d'une imagination peu réglée, qui nous mène très-souvent à faux. Elle nous est néanmoins si naturelle, & elle est si universelle, qu'il n'y a personne qui soit maître de s'en garantir, quoique l'erreur, qui en résulte, soit souvent très-manifeste, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A. par rapport à la lune: mais nous sommes trompés encore en quantité d'autres occasions dont je vais développer quelques-unes.

- I. C'est une illusion fort connue que, de nuit, le feu d'une incendie nous paroît beaucoup plus proche qu'il n'est effectivement. La raison en est bien claire: le feu brille avec un très-grand éclat, & selon le principe établi de notre imagination, nous l'estimons toujours plus près qu'il n'est.
- II. C'est ainsi qu'une grande salle dont les parois sont bien blanchis, nous paroît toujours plus petite. V. A. fait que le blanc est de la couleur la plus brillante: nous estimons

donc les murailles de cette salle trop proches de nous, & par conséquent l'étendue apparente en est diminuée.

III. Or dans une salle dont les murailles sont couvertes de drap noir, suivant l'usage des grands deuils, nous éprouvons un effet entièrement contraire. Une chambre nous paroît alors beaucoup plus spacieuse qu'elle n'est effectivement : le noir est sans-doute la couleur la plus sombre, puisqu'elle ne renvoie presque aucune lumière dans nos yeux ; c'est pourquoi il nous semble que les parois noirs sont beaucoup plus éloignés de nous qu'ils ne le sont en effet. Une chambre dont on couvre les murailles de toile noire paroîtra donc plus grande ; & si , au contraire, on les fait bien blanchir, elle paroîtra plus petite.

IV. Personne ne profite mieux de cette illusion si naturelle & si commune à tous les hommes que les peintres. V. A. fait que le même tableau nous représente des objets dont quelques-uns paroissent extrêmement éloignés, pendant que d'autres semblent fort proches ; & c'est en quoi consiste la plus grande ressource d'un habile peintre. Il est bien surprenant que, malgré que nous sachions très-certainement que toutes les représentations d'un tableau sont exprimées sur la même surface, & ainsi à-peu-près à une égale distance de nos yeux, nous n'en soyons pas moins trompés, & que nous jugions les

unes fort loin & les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un mélange adroit de lumière & d'ombre, qui fournit effectivement aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tableau, pour s'appercevoir que les objets qui doivent nous paroître fort éloignés, sont exprimés foiblement & assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous appercevons bien, par exemple, des personnes, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, le nez, ni la bouche; & c'est conformément à cette apparence que le peintre représente les objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, & prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéamens du visage, les plis de l'habit &c. cette représentation semble pour ainsi dire sortir alors du tableau, tandis que d'autres y paroissent enfoncées & fort reculées.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion qu'est fondé tout l'art de la peinture. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art ne sauroit plus avoir lieu dans toutes ses parties, pas plus que si nous étions aveugles. Le peintre auroit beau faire valoir tout son talent dans le mélange des couleurs, nous dirions, voilà sur cette table,

ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres : tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, ainsi, aucun objet réel ne sauroit être représenté de cette manière : on ne sauroit alors le regarder autrement que comme une écriture sur le papier, & l'on se fatigueroit peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Ne ferions nous pas fort à plaindre dans cet état de perfection, d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art si amusant & si instructif.

le 8 Mai 1762.

LETTRE CCXXXI.

V. A. vient de comprendre la cause de l'illusion par laquelle la lune, ainsi que le soleil, nous paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, qu'à une hauteur considérable, consistant en ce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous, estime fondée sur ce que leur lumière souffre alors un affoiblissement considérable, par le long trajet qu'elle fait à travers l'atmosphère dans la basse région, qui est la plus chargée de vapeurs & d'exhalaisons qui diminuent la transparence. Tel est le ré-

fumé des réflexions que j'ai eu l'honneur de proposer à V. A. sur ce sujet.

Cette qualité de l'air qui diminue sa transparence, pourroit être regardée au premier coup-d'œil comme un défaut. Mais si nous en considérons les suites, nous trouvons que, bien loin que c'en soit un, nous devons au contraire y reconnoître la sagesse & la bonté infinie du créateur. C'est à cette impureté de l'air que nous sommes redevables du spectacle merveilleux & ravissant que nous offre le bleu du ciel; car les particules opaques qui arrêtent les rayons de lumière, en sont éclairées, & nous renvoient ensuite leurs propres rayons, produits dans leur surface par un tremoussement violent, comme il arrive dans tous les corps opaques. Or c'est le nombre de vibrations qu'elles reçoivent qui nous représente ce magnifique bleu. Cette circonstance mérite bien que je la développe clairement.

I. J'observe d'abord que ces particules sont extrêmement petites & fort éloignées entr'elles, outre qu'elles sont très-déliées, & presque tout-à-fait transparentes. De-là vient que chacune séparément n'est absolument point perceptible, & que nous ne pouvons en être affectés que quand un très-grand nombre envoie ses rayons à la fois, & presque selon la même direction, dans nos yeux. Il faut donc la réunion des rayons de plusieurs, pour exciter une sensation.

II. Il en suit donc clairement que celles de ces particules qui sont près de nous, échappent

à nos sens, puisqu'il faut les considérer comme des points dispersés par la masse de l'air.

Mais celles qui sont fort éloignées de l'œil, comme *Tab. XI. fig. 1.* les points *a, b, c*, réunissent dans l'œil, presque selon la même direction, leurs rayons qui, par là, deviennent assez forts pour frapper notre vue, sur-tout quand on considère que des particules semblables plus éloignées *e, f, g, h*, ainsi que d'autres plus voisines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorsqu'il est serein, n'est donc autre chose que le résultat de toutes ces particules dispersées dans l'atmosphère, & principalement de celles qui sont fort éloignées de nous; on peut donc bien dire qu'elles sont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient assez foncé & sensible, que lorsqu'elles sont en très-grand nombre, & qu'elles joignent ensemble leurs rayons selon la même direction.

IV. L'art produit un effet semblable. Si, en dissolvant une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau, on laisse tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, & si l'on en verse dans un petit gobelet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-foible. Mais qu'on en remplisse un grand vase, & qu'on le regarde de loin, on y voit un bleu très-foncé. La même expérience peut se faire avec d'autres couleurs. C'est ainsi

ainsi que le vin de Bourgogne en très-petite quantité, paroît à peine un peu rougeâtre, & que dans une grande phiole bien remplie, la couleur rouge paroîtra très-foncée.

V. L'eau, dans un bassin grand & profond, paroît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout-à-fait claire & limpide. Cette couleur est ordinairement plus ou moins verdâtre; ce qui fait dire que les dernières particules de l'eau le sont aussi, mais d'une couleur extrêmement déliée; de sorte qu'il faut en regarder un grand volume, avant de s'en appercevoir, parceque les rayons de plusieurs particules se joignent alors ensemble pour produire cet effet.

VI. Comme il paroît probable par cette observation, que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, on pourroit soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac & d'un étang, nous paroissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paroît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air ayent une légère teinture de bleu, mais si foible qu'elle ne s'apperçoit que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette couleur aux vapeurs qui voltigent dans l'air & qui n'y appartiennent pas.

VII. En effet, plus l'air est pur & dégagé d'exhalaisons, plus le bleu du ciel a d'éclat; ce qui prouve suffisamment, qu'il faut en chercher la raison dans les particules propres de

l'air. Les matières étrangères qui s'y mêlent, comme les exhalaisons, deviennent au contraire nuisibles à ce beau bleu, & ne font qu'en altérer l'éclat. Lorsque ces vapeurs chargent trop l'air, elles causent ici-bas des brouillards, & nous dérobent entièrement le spectacle de la couleur bleue; si elles sont plus élevées, comme cela arrive ordinairement, il s'en forme des nuages qui couvrent souvent le ciel tout entier, & nous offrent une couleur toute autre que ce bleu de l'air pur; c'est donc une nouvelle qualité de l'air, outre celle de la subtilité, de la fluidité & de l'élasticité que j'ai eu déjà l'honneur d'exposer à V. A., c'est-à-dire, que les dernières particules de l'air, sont bleuâtres de leur nature.

le 11 Mai 1762.

LETTRE CCXXXII.

Indépendamment du beau spectacle du bleu du ciel dont nous fait jouir cette teinture de l'air qui nous environne, nous serions bien malheureux s'il étoit parfaitement transparent & dépouillé de ces particules bleuâtres; mais c'est encore un nouveau sujet pour nous de reconnoître & admirer la bonté infinie & la sagesse du Créateur.

Supposons, pour en convaincre parfaitement V. A., que l'air soit tout-à-fait transparent &

semblable à l'éther, qui, comme nous le faisons, transmet tous les rayons des étoiles sans en arrêter aucun & ne contient point de particules éclairées elles-mêmes par les rayons, parcequ'une telle particule ne sauroit l'être sans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air se trouvoit dans cet état, les rayons du soleil le traverseroient librement, sans qu'aucune lumière en fut renvoyée dans nos yeux : nous ne recevrons que les rayons qui viennent immédiatement du soleil. Le ciel entier, excepté le lieu où est le soleil, nous paroîtroit donc tout-à-fait obscur, & , au lieu de ce bleu brillant, nous n'y découvririons en regardant en haut, qu'un noir très-foncé & la nuit la plus obscure.

La *fig. 2. Tab. XI.* représente le soleil, & le point O est un spectateur dont l'œil ne recevrait d'autres rayons d'en haut que du soleil, de sorte que toute la clarté seroit renfermée dans le petit angle E O F. En portant sa vue vers une autre région du ciel comme vers M, on n'en recevrait aucun rayon, & il en seroit comme si l'on regardoit dans un lieu entièrement obscur; or tout endroit qui n'envoie aucuns rayons de lumière est noir. Je fais abstraction des étoiles dont le ciel est rempli; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui se trouvent dans cette région, n'y entrent; & ils auroient même d'autant plus de force, qu'ils ne souffriroient aucun affoiblissement par l'atmosphère, telle

que je viens de la supposer. On verroit donc toutes les étoiles en plein jour, comme dans la nuit la plus obscure; mais il faut considérer que ce plein jour se réduiroit au seul petit angle EOF , tout le reste du ciel étant aussi obscur que la nuit.

Cependant, près du soleil, les étoiles nous seroient invisibles, & nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N ; puisqu'en la regardant, notre œil recevroit en même tems les rayons du soleil, desquels il seroit frappé si vivement, que la foible lumière de l'étoile ne sauroit y exciter de sensations. Je ne parle pas de l'impossibilité qu'il y auroit à tenir l'œil ouvert; en voulant regarder vers N ; cela est trop sensible pour ne pas être entendu.

Mais en opposant au soleil un corps opaque qui en interceptât les rayons, on ne manqueroit pas de voir l'étoile N , quelque proche qu'elle fut du soleil: $V. A.$ comprendra aisément dans quel triste état nous serions alors. Ce voisinage du plus grand éclat & des ténèbres les plus sombres blesseroit notre vue, au point, que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous ressentons en passant subitement d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé.

C'est donc à ce grand inconvénient que remédie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant soit peu opaques & susceptibles d'illumination. Alors, dès que le soleil se lève au-dessus de l'horizon, & même déjà

un peu auparavant, toute l'atmosphère en devient éclairée, & nous présente ce beau bleu dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; de sorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Aussi, en regardant vers M *fig. 2. Tab. XI.*, appercevons nous une très-grande clarté; soit ce bleu brillant du ciel.

Cette même clarté nous empêche de voir les étoiles pendant le jour: la raison en est évidente. Elle surpasse de beaucoup celle des étoiles, & une grande clarté en fait disparoître une plus petite; or les nerfs de la rétine au fonds de l'œil, étant déjà frappés par une lumière très-forte, ne seroient plus sensibles à la foible impression des étoiles.

V. A. doit se rappeler que le clair de la pleine lune est plus de 300,000 fois plus foible que celui du soleil, pour se convaincre que la clarté qui nous vient des étoiles n'est rien en comparaison de celle du soleil. Or la clarté du ciel pendant le jour est déjà si éclatante, que quoique le soleil soit couvert, elle surpasse encore plusieurs mille fois celle de la pleine lune.

V. A. aura bien aperçu que, de nuit, lorsque la lune est pleine, les étoiles paroissent beaucoup moins brillantes, & qu'on ne voit que les plus grandes, sur-tout dans son voisinage, de sorte qu'une grande lumière étouffe toujours une plus foible.

C'est donc un très-grand avantage que no-

tre atmosphère commence à être éclairée par le soleil, avant même qu'il se lève, parceque cela nous dispose à soutenir la vivacité de son éclat, qui feroit insupportable, si le passage de la nuit au jour étoit subit. Le tems pendant lequel l'atmosphère devient éclairée avant le lever du soleil, & conserve encore de la clarté après le coucher, s'appelle crépuscule. Ce sujet mérite par son importance, d'être bien considéré, & je me propose d'en entretenir plus amplement V. A. C'est ainsi qu'un article de physique en amène un autre.

le 15 Mai 1762.

LETTRE CCXXXIII.

POUR expliquer la cause des crépuscules, ou de cette clarté du ciel qui précède le lever du soleil & qu'on voit après son coucher, V. A. n'a qu'à se rappeler ce que j'ai déjà eu l'honneur de lui dire touchant l'horizon & l'atmosphère.

Que le cercle *A O B D* *Tab. XI. fig. 3.* représente la terre, & le cercle ponctué *a o b d* l'atmosphère: considérons un lieu sur la terre *O*, par laquelle on tire une ligne droite *H O R I* qui touche la terre en *O*, & cette ligne *H I* représentera l'horizon qui sépare la partie du ciel qui nous est visible de celle qui ne l'est

pas. Dès que le soleil atteint cette ligne, il paroît donc dans l'horizon en se levant ou en se couchant, & toute l'atmosphère en est alors éclairée. Mais supposons que le soleil, avant que de se lever, se trouve encore au-dessous de la terre en S; d'où le rayon STR frisant la terre en T, puisse atteindre le point de l'atmosphère situé dans notre horizon, & les particules opaques qui s'y trouvent en seront déjà éclairées, & par conséquent, nous deviendront visibles. Ainsi, quelque tems déjà avant le lever du soleil, l'atmosphère boR sur notre horizon commence à être éclairée en R, & à mesure que le soleil s'approche de l'horizon, une plus grande partie en sera éclairée, jusqu'à ce qu'elle devienne tout-à-fait lumineuse.

Cette considération me conduit à un autre phénomène autant intéressant, qui lui est très-étroitement lié, c'est que l'atmosphère nous fait encore appercevoir le soleil & les autres astres, quelque tems avant qu'ils se lèvent au-dessus de notre horizon, & quelque tems après leur coucher, par la réfraction que les rayons souffrent en passant de l'éther pur dans l'air grossier qui constitue notre atmosphère; je vais en donner l'explication.

I. Les rayons de lumière ne continuent leur route en ligne droite, qu'autant qu'ils se meuvent dans un milieu transparent de la même nature. Dès qu'ils passent d'un milieu dans un autre, ils sont détournés de

leur route rectiligne , & leur chemin devient comme rompu ; c'est ce que l'on nomme la réfraction , dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez long-tems V. A. en expliquant comment les rayons , en passant de l'air dans le verre , & réciproquement , souffrent une réfraction.

II. Or l'éther & l'air étant deux milieux différens, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air , il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc du cercle *A M B Tab. XI. fig. 4.* terminant notre atmosphère en haut , si un rayon de lumière *MS* de l'éther y tombe en *M*, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite *MN*, mais il prendra, en entrant dans l'air, la route *MR* un peu différente de *MN*, & l'angle *NMR* est nommé l'angle de réfraction ou simplement la réfraction.

III. J'ai déjà remarqué que la réfraction est d'autant plus grande , que le rayon *SM* tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère , ou que l'angle *BMS* est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon *SM* tomboit perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère , ou que l'angle *BMS* fut droit, il n'y auroit point de réfraction , mais le rayon continueroit sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions , de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

- IV. Que l'arc de cercle AOB *Tab. XI. fig. 5.* représente la surface de la terre, & que l'arc EMF termine l'atmosphère. Si l'on tire en O la ligne OMV qui touche la surface de la terre en O , elle fera horizontale. Et si le soleil se trouve encore au-dessous de l'horizon en S , desorte qu'il nous soit encore invisible, puisqu'aucun de ses rayons ne pourroit arriver jusqu'à nous en ligne droite, le rayon SM , étant continué en ligne droite, passeroit au-dessus de nous en N ; mais comme il tombe en M sur l'atmosphère, & très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y souffrira une réfraction assez considérable; &, au lieu de passer en N , il pourra parvenir précisément en O , desorte que le soleil nous soit déjà visible quoiqu'il se trouve encore au-dessous de l'horizon, ou, ce qui revient au même, au-dessous de la ligne horizontale OMV .
- V. Cependant, comme le rayon MO qui entre dans nos yeux est horizontal, nous rapportons dans notre jugement le soleil à la même direction, & nous nous imaginons qu'il se trouve en V , ou dans l'horizon, quoiqu'il soit au-dessous. Et réciproquement, toutes les fois que nous voyons le soleil, ou tout autre astre, dans l'horizon, nous devons juger qu'il est au-dessous, selon l'angle SMV , que les astronomes ont observé être d'environ demi-dégré, ou, plus exactement, de 32 minutes.

VI. Au matin, nous voyons donc le soleil avant qu'il atteigne notre horizon, lorsqu'il en est encore distant d'un angle de 32 minutes; & le soir encore longtems après son vrai coucher; puisque nous le voyons encore jusqu'à ce qu'il soit descendu à un angle de 32 minutes. On nomme vrai lever ou coucher du soleil, lorsqu'il se trouve dans l'horizon, mais lorsqu'il commence à paroître le matin ou à disparoître le soir, c'est le lever ou coucher apparent.

VII. Cette réfraction de l'atmosphère, qui fait que le lever apparent du soleil précède son véritable lever, cette réfraction, dis-je, nous procure l'avantage de jouir de jours plus longs qu'ils ne seroient sans cet effet de l'atmosphère. Voilà donc l'explication d'un phénomène bien important.

le 18 Mai 1762.

LETTRE CCXXXIV.

V. A. aura compris cet effet singulier de notre atmosphère, par lequel nous voyons le soleil & tous les autres corps célestes dans l'horizon, quoiqu'encore plongés au-dessous, en sorte qu'ils seroient invisibles pour nous sans la réfraction. C'est par la même raison que le soleil & toutes les étoiles, nous paroissent

toujours plus élevés au-dessus de l'horizon qu'ils ne le sont effectivement; ce qui fait que l'on doit distinguer soigneusement la hauteur apparente d'une étoile, de la véritable à laquelle elle paroîtroit, s'il n'y avoit point d'atmosphère. Je vais mettre ceci dans tout son jour.

I. Que l'arc AOB *Tab. XI. fig. 6.* soit une partie de la surface de la terre, & O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la surface de la terre, & cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou, qu'on érige en O verticalement la ligne droite OZ; qui est la même qu'un fil suspendu & chargé d'un poids indiqué. Cette ligne est nommée ici verticale, & le point du ciel Z auquel elle aboutit, porte le nom de zénith. Or cette ligne OZ est perpendiculaire sur l'horizontale HOR, desorte que l'une étant connue on peut aisément déterminer l'autre.

II. Cela posé, soit *Tab. XI. fig. 7.* une étoile en S, & s'il n'y avoit point d'atmosphère, le rayon SMO passeroit en ligne droite à l'œil O, & nous la verrions dans la même direction OMS, où elle se trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans son véritable lieu. On mesure alors l'angle SOR que fait le rayon SO avec l'horizon OR, & cet angle est nommé la hauteur de l'étoile ou son élévation au-dessus de l'ho-

rizon. Ou bien on mesure l'angle SOZ que fait le rayon SO , avec la ligne verticale OZ , dirigée vers le zénith, & puisque l'angle ZOR est droit, ou de 90 degrés, on n'a qu'à soustraire l'angle SOZ de 90 degrés, pour avoir l'angle SOR qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc $HDNMR$, & je remarque d'abord que le rayon précédent de l'étoile SM en entrant en M dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O , mais qu'il prendra à cause de la réfraction un autre chemin comme NP , & n'entrera point par conséquent dans nos yeux; de sorte que si l'étoile ne lançoit vers la terre que ce rayon SM , elle nous feroit absolument invisible. Or il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tous sens, & que tout l'espace en est rempli.

IV. Il se trouvera donc parmi les autres quelque rayon comme SN , qui est rompu ou réfracté au haut de l'atmosphère en N ; en sorte que sa continuation NO passe précisément à l'œil O . Le rayon réfracté NO ne se trouve donc pas en ligne droite avec celui SM , & si l'on continue NO vers s , la continuation Ns fera un angle avec le rayon NS , savoir l'angle SNs qui est le même qu'on nomme la réfraction, & qui est d'autant plus grand, que l'angle SNR ,

sous lequel le rayon SN entre dans l'atmosphère, est plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conséquent c'est le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S & qui nous la rend visible; & comme ce rayon nous vient dans la direction NO , comme si l'étoile s'y trouvoit, nous jugeons aussi l'étoile située dans la direction NO , ou bien dans sa continuation quelque part en s . Ce lieu s étant différent du véritable S , on nomme s le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien distinguer du véritable lieu S , où nous verrions l'étoile s'il n'y avoit point d'atmosphère.

VI. Puis donc que nous voyons l'étoile par le rayon NO , l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon, est la hauteur apparente de l'étoile; & quand on mesure, par le moyen des instrumens propres à cette opération, l'angle NOR , on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile; la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle ROS .

VII. De-là il est évident que la hauteur apparente RON est plus grande que la hauteur véritable ROM ; desorte que les étoiles nous paroissent plus élevées au-dessus de l'horizon qu'elles ne le sont en effet, par la même raison, que les étoiles nous paroissent déjà dans l'horizon, quand elles sont encore

au-deffous. Or l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable, est l'angle MON qui ne difere pas de l'angle SNs qu'on nomme la réfraction. Car, quoique l'angle SNs , comme étant l'externe au triangle SNO , soit égal aux deux internes opposés SON & NSO pris ensemble, il faut considérer qu'à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS & NS sont paralleles, & conséquemment l'angle OSN s'évanouit, desorte que l'angle SON est presque égal à l'angle de réfraction SNs .

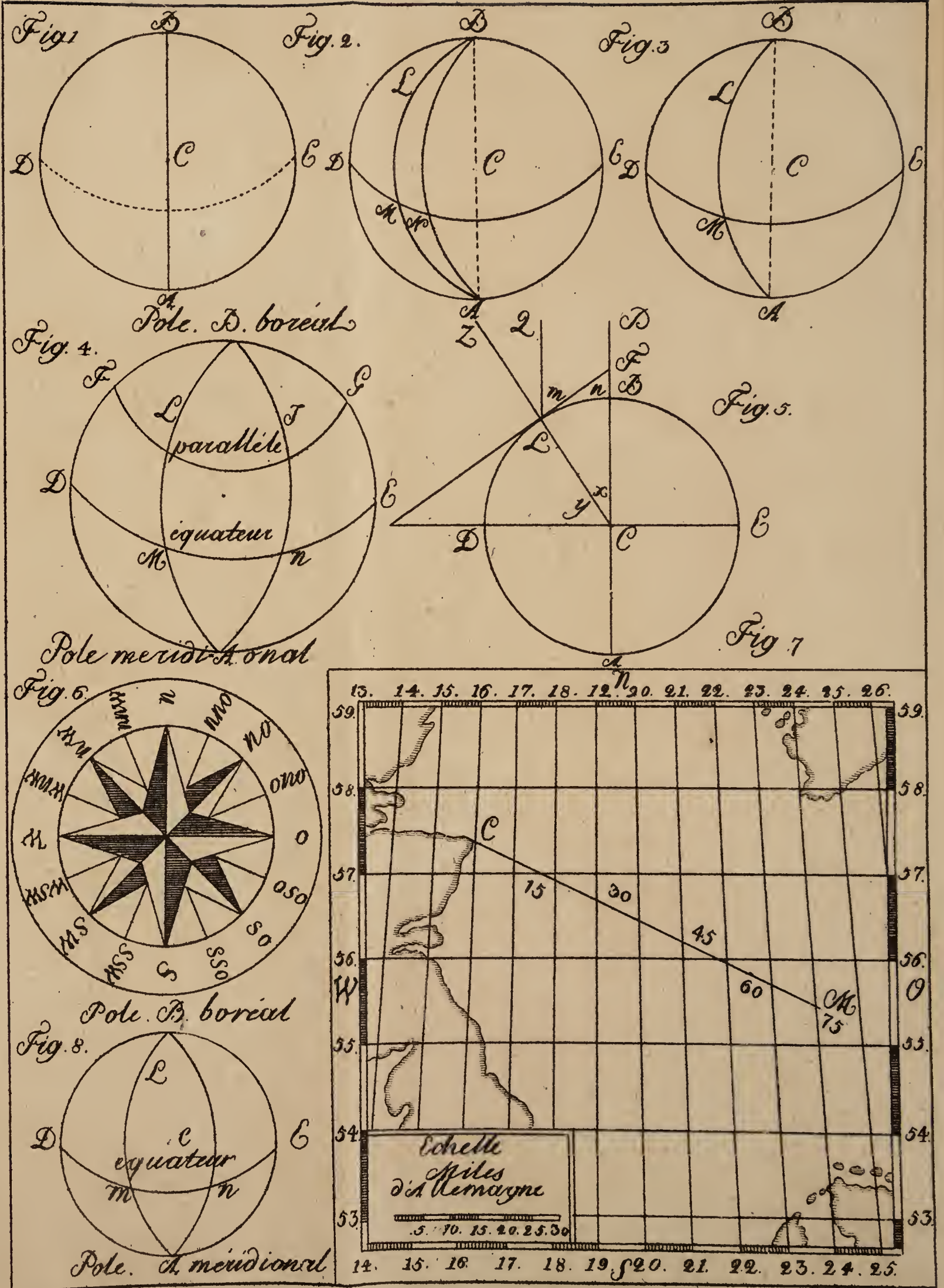
VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il faut en retrancher la réfraction, pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'est pas possible de connoître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine, afin de découvrir exactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour le véritable.

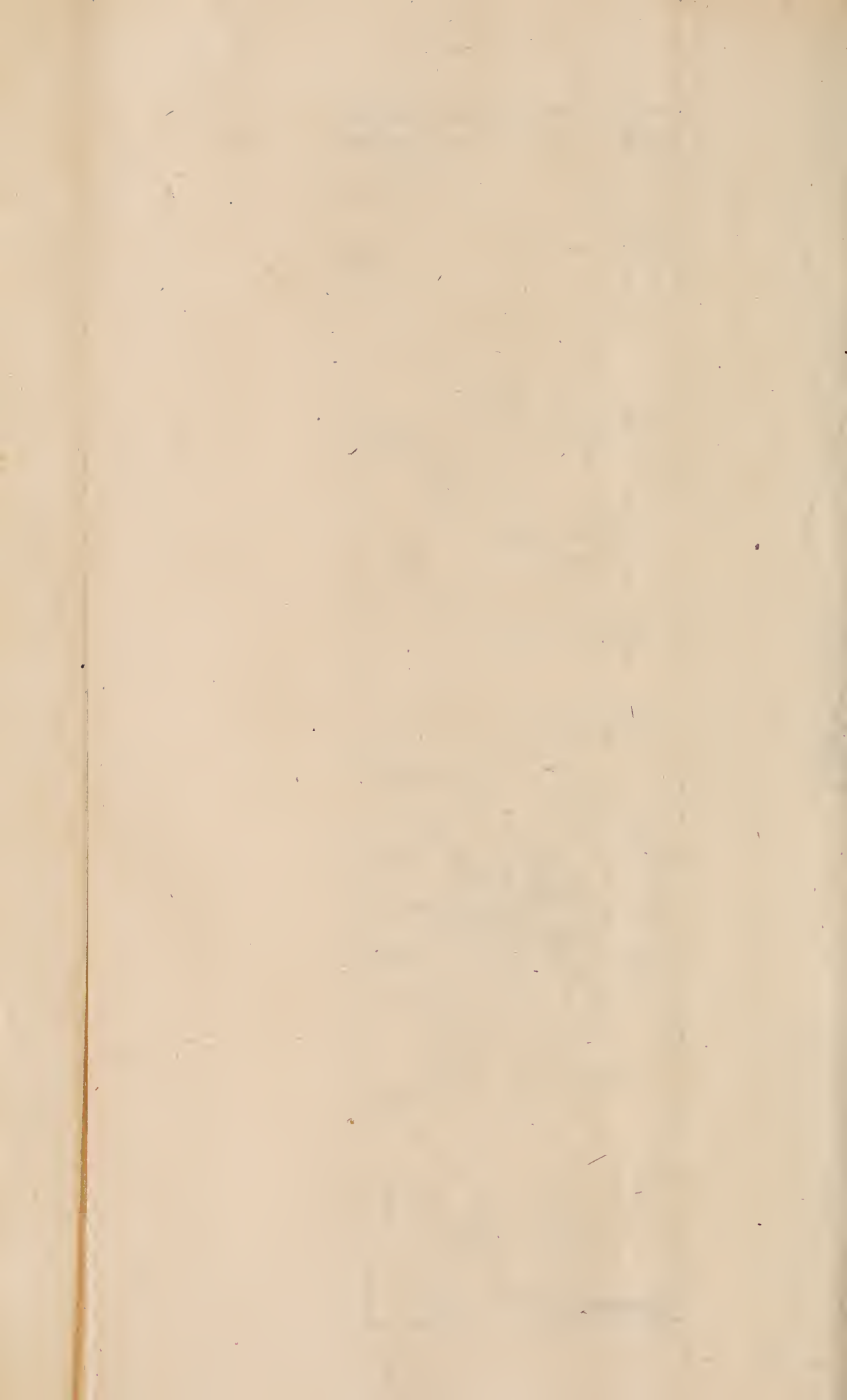
IX. Après une longue suite d'observations, ils ont enfin dressé une table, qu'on nomme la table de réfraction, qui marque pour chaque hauteur apparente la réfraction ou l'angle qu'il faut en retrancher. Ainsi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paroît dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais pour peu que l'é-

toile paroisse élevée au-dessus de l'horizon , la réfraction devient beaucoup moindre. A la hauteur de 15 degrés elle n'est plus que de 4 minutes , à la hauteur de 40 degrés elle n'est que d'une minute , & pour de plus grandes hauteurs , elle devient toujours plus petite , jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse entièrement à la hauteur de 90 degrés.

X. C'est ce qui arrive lorsqu'une étoile est vue dans le zénith même ; car sa hauteur est alors de 90 degrés , & la hauteur véritable est la même que l'apparente ; & nous sommes bien assurés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve réellement , & que la réfraction de l'atmosphère n'en change point la place , comme dans toutes les autres situations.

F I N.





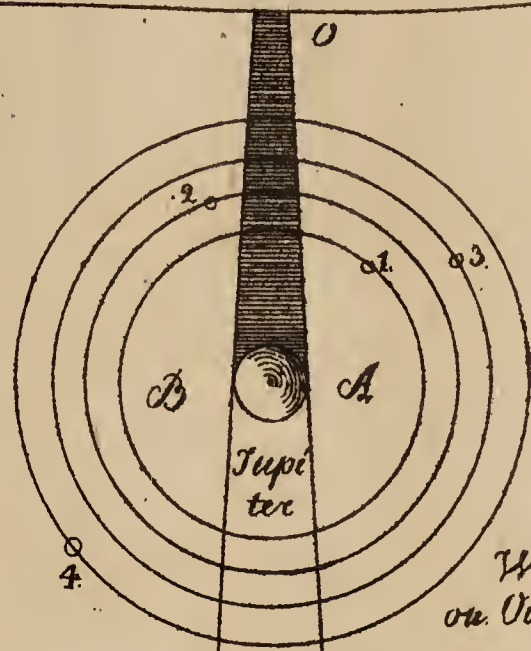


Fig. 1

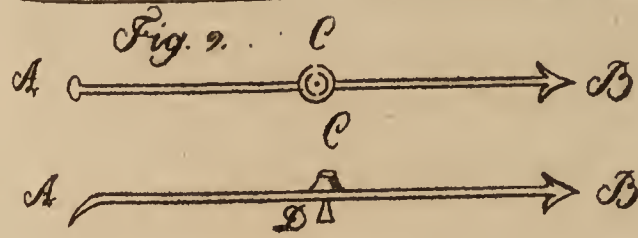


Fig. 2.

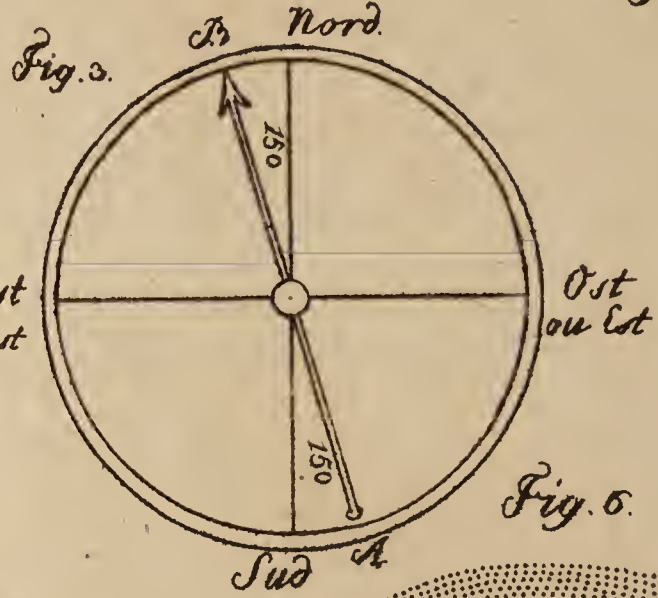


Fig. 3.

Fig. 7.

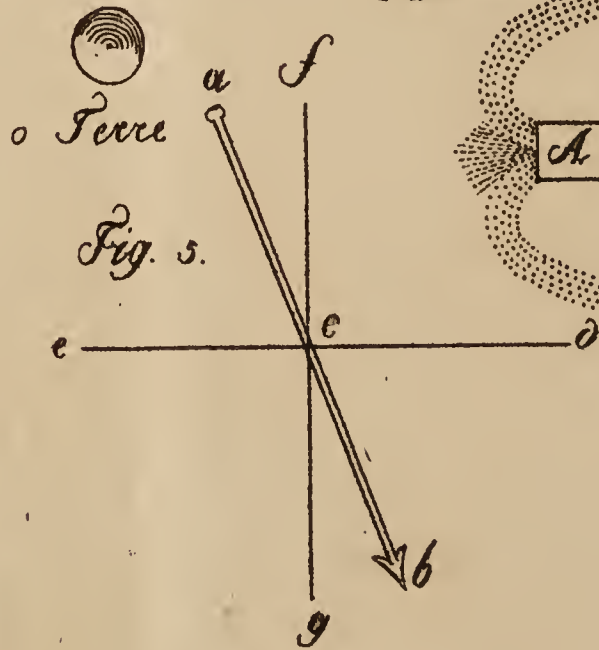


Fig. 5.

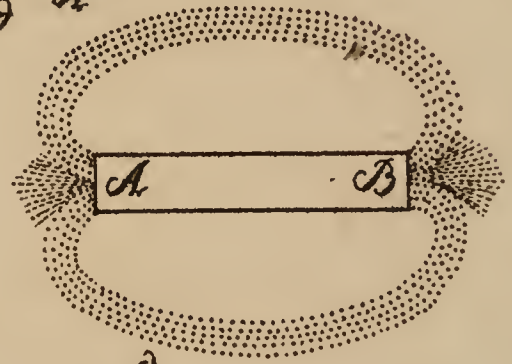


Fig. 6.

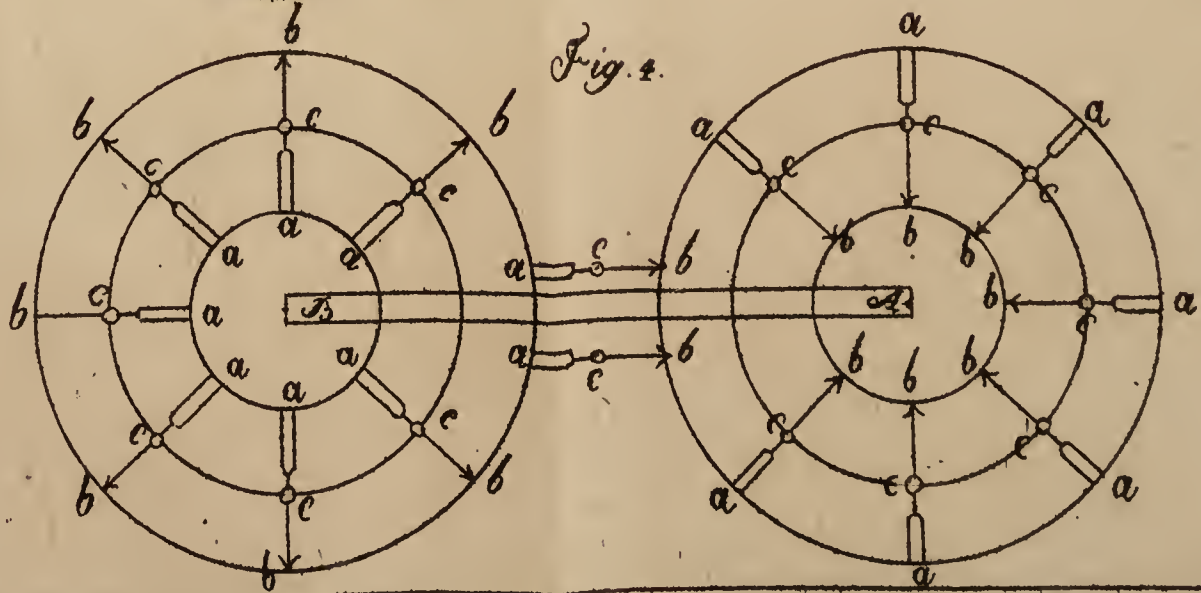


Fig. 4.

Fig. 8.

